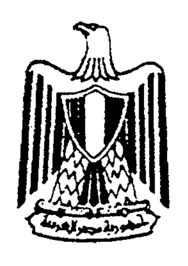


جمهورية مصر العربية
وزارة الموارد المائية والرى
المركز القومى لبحوث المياه

الكود المصرى
للموارد المائية وأعمال الرى

المجلد الخامس

الأعمال الميكانيكية للرى والصرف

اللجنة الدائمة

لإعداد الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

الطبعة الأولى
عام ٢٠٠٣

تقديم

لما كان الماء هو عصب الحياة وركيزة تقدم الشعوب وأنه ندرة فى منطقتنا العربية ويتزايد الطلب عليه يوماً بعد يوم فقد وجب علينا أن نرفع دوماً من كفاءة إدارته لنعظم عوائده ونحد من فواقده.

لذلك رأت وزارة الموارد المائية والرى إعداد هذا الكود ليكون دستوراً للعمل ودليلاً يهتدى به ويحتكم إليه. ولقد راعت الوزارة فى إعداده أن يضم نظماً موحدة لإدارة شبكات الرى والصرف وتنفيذ مشروعاتها، وأن يكون شاملاً لأعمال حماية وتنمية السواحل البحرية، وأن يتضمن تحديداً لأساليب الإختبار والمعايير القياسية الخاصة بتصميم وتنفيذ الأعمال وإختبار مواد الإنشاء فضلاً عن تضمينه ضوابط لأحكام الرقابة على كافة الأعمال الإنشائية، وعلى أعمال إدارة شبكات الرى والصرف، والأعمال الميكانيكية والكهربية، وأعمال حماية الشواطئ، وفى نفس الوقت يشكل مرجعاً يحتكم إليه فى حسم أى خلافات قد تنشأ بين أجهزة الوزارة والمتعاملين معها من وزارات وهيئات وأفراد. وأن يكون عاملا للحد من الأخطار حماية للمجتمع وللعاملين فى هذا المجال.

وقد شارك فى إعداد هذا الكود نحو ثمانين متخصصاً من الأساتذة وكبار المهندسين من ذوى الخبرات الطويلة المشهود لهم فى مجال أعمال الوزارة سواء من داخلها أو من الجامعات المصرية المختلفة. ولقد تحرينا قبل إصدار هذا الكود أقصى درجات التدقيق كما تم طرحه على مجتمع مستخدمى المياه وعلى مختلف القطاعات العاملة فى المجالات ذات الصلة بموضوعاته طلباً لمشورتهم ومقترحاتهم فى مضمونه، وتم الإسترشاد بما تلقيناه منهم جميعاً من مقترحات بناءة ومفيدة.

ونأمل أن يساهم هذا الكود فى رفع مستوى الأداء لتعظيم الفائدة من مواردنا المائية.

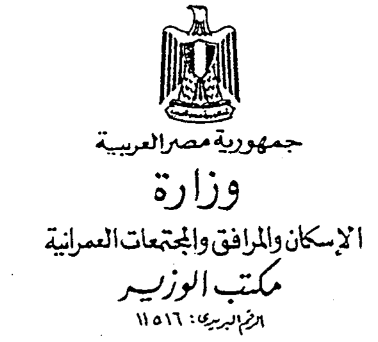
والله نسأل أن يلهمنا جميعاً سواء السبيل وأن يرشدنا لما فيه الخير لأمتنا ولوطننا العزيز.

وبالله التوفيق.

وزير الموارد المائية والرى

أستاذ دكتور مهندس / محمود عبدالحليم أبو زيد

بسم الله الرحمن الرحيم



قرار وزاري
رقم (٣٥٠) لسنة ٢٠٠٣
في شأن
وضع أسس التصميم وشروط
التنفيذ بالنسبة لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف

وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

- بعد الاطلاع على القانون رقم (٦) لسنة ١٩٦٤ بشأن أسس تصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء .
- وعلي القرار الوزاري رقم ١٤٨ لسنة ١٩٩١ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بخصوص تشكيل اللجنة العليا للتنسيق بشأن إعداد الكود المصري في مجال أنشطة وزارة الأشغال العامة والموارد المائية .
- وعلي القرار الوزاري رقم ٢٨٥ لسنة ١٩٩١ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بشأن تشكيل اللجان الفرعية المختصة بإعداد بنود الكود المصري لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف .
- وعلي القرار الوزاري رقم ٣١٧ لسنة ١٩٩٣ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بشأن تشكيل اللجنة الفرعية التخصصية لأعداد بنود الكود المصري في مجال حماية الشواطئ .
- وعلي القرار الوزاري ي رقم ٢٣٨ لسنة ١٩٩٤ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية المتضمن تشكيل اللجنة الدائمة للكود المصري لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف .
- وعلي كتاب السيد الدكتور وزير الموارد المائية والري .

بسم الله الرحمن الرحيم



جمهورية مصر العربية
وزارة
الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
مكتب الوزير
الرقم البريدي: ١١٥١٦

قـــــرار

مادة (١): يتم العمل بأسس تصميم وشروط تنفيذ جميع أعمال الموارد المائية ومتطلبات الرى والصرف والمرفقه بهذا القرار.

مادة (٢): تلتزم الجهات المعنيه والمذكورة فى القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بتنفيذ ماجاء بهذا القرار.

مادة (٣): تتولى اللجنة الدائمة المشكلة لهذا الغرض بوزارة الموارد المائية والرى إقتراح التعديلات التى تراها لازمة بهدف التحديث كلما دعت الحاجة لذلك .. وتعتبر التعديلات بعد إصدارها جزءاً لايتجزأ منه.

مادة (٤): تتولى وزارة الموارد المائية والرى نشر ماجاء بهذه الأسس والتعريف بها والتدريب عليها.

مادة (٥): ينشر هذا القرار فى الوقائع المصرية ويعتبر نافذاً من تاريخ النشر.

صدر فى ٢/١٢/٢٠٠٣

وزير الإسكان والمرافق
والمجتمعات العمرانية

(م/ محمد إبراهيم سليمان)

شكر وعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

"وقالوا الحمد لله الذى هدانا لهذا وما كنا لنهتدى لولا أن هدانا الله ".

صدق الله العظيم

بإتمام هذا العمل الكبير الذى بدأته نخبة متميزة من العلماء الأجلاء ومن كبار مهندسى الرى المصرى منذ ما يـــربو على العشر سنوات تواكبت فيها جهودهم الخالصة مع فكرهم الخلاق وفى إطار من التفانى والمثابرة والتصـــميم ليضـــعوا الأسس والمعايير للأجيال القادمة لتنظيم ولضبط ولترشيد إستخدام المياه ... تكون هذه النخـــبة قد خطت بمصرنا إلى عهد جديد يتسم بتأصيل المعرفة فى التعامل مع أهم مورد فى الحياه حبانا به الله . فلهم كل الشكر والثناء على ما قدموه لوطنهم من عطاء ، والله على حسن مثوبتهم لقدير .

وبمـــا أن الفضل يجب أن يرد إلى صانعيه .. فيتوجب علينا أن نذكر بكل العرفان والتقدير كل من آزروا هذا العمـــل وهـــيأوا له سبل الإنجاز . فما كان لهذا العمل أن يبدأ دون إشارة البدء التى أطلقها السيد المهندس الكبـــير الوزيـــر/ عصام عبدالحميد راضى الذى سارع بالإستجابة وبتوفير كافة الإمكانات له وبذلك إستحق وبكـــل الحـــق فضـــل ريادة هذا العمل .. كذلك كان للزميل العزيز الأستاذ الدكتور الوزير / محمد عبدالهادى راضـــى طيـــب الله ثـــراه مآثـــره ، فلقد كان لجهده وفكره الثاقب أعظم الأثر فى التخطيط البناء له وذلك عـــندما شـــغل عضوية أول تشكيل للجنة تنسيق الكود كما كان لرعايته الدائمة له عندما تقلد منصب رئاسة وزارة الأشـــغال العامة والموارد المائية أبعد الأثر لدفع العمل لأعلى المستويات ... وأخيراً وليس آخراً لا بد أن ننوه بالدعم الكبير الذى قدمه ويقدمه الأستاذ الدكتور الوزير/ محمود عبدالحليم أبو زيد الذى قيد الله أن يتم فضله وأن تتم الطبعة الأولى لكود الموارد المائية وأعمال الرى بحسن توجيهه وبفضل إرشاده .

وقل إعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون .

"ربنا لا تزغ قلوبنا بعد إذ هديتنا" "ربنا هيئ لنا من أمرنا رشدا"

يونيو ٢٠٠٣

مقرر لجنة تنسيق
الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

أ.د/ أحمد عبدالوهاب خفاجى

أسماء السادة المشاركين فى إعداد
الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

أعد هذا الكود بمعرفة اللجان التالية:

أولاً: اللجنة الدائمة للكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

ثانياً: لجنة تنسيق الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

ثالثاً: اللجان التخصصية وهى:

١. لجنة إدارة شبكات الرى والصرف
٢. لجنة المنشآت المدنية للرى والصرف
٣. لجنة الأعمال الميكانيكية والكهربائية للرى والصرف
٤. لجنة تقنيات حماية الشواطئ البحرية

** وقد تشكلت اللجنة الدائمة برئاسة السيد الدكتور الوزير واشترك فى عضويتها منذ بدء تشكيلها للمرة الأولى وحتى تشكيلها الحالى - السادة الأتية أسماؤهم طبقا للترتيب الأبجدى وهم:

أ.د/ أحمد عبد الوهاب خفاجى	مقرراً
أ.د/ أحمد فخرى خطاب	
م/ احمد جابر بركات	
م/ أنور محمد حجازى	
م/ حسين سعيد علوان	
أ.د/ سعد ابراهيم الخوالقة	
أ.د/ شارل شكرى سكلا	
أ.د/ طلعت محمد عويس	
أ.د/ عبد الرحمن صادق بازرعة	
أ.د/ عبد الرحمن حلمى الرملى	مقرراً
م/ عبد الغنى حسن السيد	
أ.د/ محمد بهاء الدين أحمد	
أ.د/ محمد فائق عبد ربه	
أ.د/ محمد مصطفى عطعوط	
م/ محمود سعد الدين الجندى	
أ.د/ مصطفى توفيق جاويش	
م/ مصطفى محمود القاضى	
أ.د/ منى مصطفى القاضى	
م/ نبيل فوزى ناشد	
أ.د/ نزيه أسعد يونان	

** شغل عضوية لجنة التنسيق منذ بدء تكوينها وحتى تشكيلها الحالى كل من السادة الآتية أسماؤهم طبقا للترتيب الأبجدى:

أ.د/ أحمد عبد الوهاب خفاجى	مقرراً
أ.د/ أحمد فخرى خطاب	
أ.د/ عبد المعطى حسن هيكل	
أ.د/ محمد رفيق عبد البارى	
أ.د/ محمد عبد الهادى راضى	
أ.د/ مصطفى توفيق جاويش	
د.م/ محمد إسماعيل أبو خشبة	(أمانة فنية)
د.م/ ياسر عبد العزيز الحاكم	(أمانة فنية)

أسماء السادة المشاركين فى إعداد المجلدين الخامس والسادس

** ساهم فى إعداد المادة العلمية لهذين المجلدين وحققها وراجعها وصاغها كل من السادة الآتية أسماؤهم – طبقاً للترتيب الأبجدى:

م/ ابراهيم عبد اللطيف الدسوقى
أ.د/أحمد أحمد أبو سلامة
م/ أحمد جابر بركات — مقرراً
أ.د/ أحمد رأفت عبدالحميد
أ.د/ الحسينى طه الشربينى
أ.د/ السعيد طه الطناحى
أ.د/ بسيونى أحمد خليفه
م/ تودرى جرجس تاوضروس
أ.د/ رضوان حسن عبد الحميد
أ.د/ سعد مجاهد الراجحى
م/ سعد ذكى سماحة
أ.د/ طاهر ابراهيم صبرى
م/ عبد اللطيف محمد عسكر
م/ عبد الغنى حسن السيد
م/ على شفيق رفاعى
م/ كامل كامل حسين أبو السعود
م/ كامل عبد العزيز مصطفى
م/ محمد ابراهيم مصطفى
د.م/ محمد عادل يونس
أ.د/ محمد على هلال
أ.د/ محمد فائق عبد ربه
أ.د/ محمد مصطفى عطعوط

الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

يقع الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى فى سبعة مجلدات هى على النحو التالى:

المجلد الأول : إدارة شبكات الرى والصرف (الجزء الأول) ويشمل:

مقدمة : تقديم لمرفق الرى و الصرف، وأجهزة الوزارة، ومسئولياتها
الباب الأول : رى الأراضي الزراعية
الباب الثانى : صرف الأراضى الزراعية

المجلد الثانى : إدارة شبكات الرى والصرف (الجزء الثانى) ويشمل:

الباب الثالث : التوسع الأفقى
الباب الرابع : تنمية الموارد المائية
الباب الخامس : أعمال الصيانة
الباب السادس : إدارة هيدرولوجيا السيول
الباب السابع : الأعمال المساحية

المجلد الثالث : المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الأول) ويشمل:

الباب الأول : شبكات الرى المبطنة
الباب الثانى : المنشآت المائية المتقاطعة
الباب الثالث : المفيضات والمصبات
الباب الرابع : الهدارات
الباب الخامس : القناطر والبوابات
الباب السادس : السدود
الباب السابع : الأهوسة الملاحية
الباب الثامن : محطات توليد القوى الكهرومائية

المجلد الرابع : المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الثانى) ويشمل :

الباب التاسع : محطات الطلمبات
الباب العاشر : الآبار
الباب الحادى عشر : الكبارى
الباب الثانى عشر : الأنفاق
ملحق م١ : خرسانة المنشآت المائية

المجلد الخامس : الأعمال الميكانيكية للرى والصرف ويشمل:

الباب الأول : المضخات
الباب الثانى : محركات الإحتراق الداخلى
الباب الثالث : معدات نقل الحركة والقدرة
الباب الرابع : المحابس والبوابات
الباب الخامس : الوقاية الميكانيكية والكيماوية والحماية الكاثودية
الباب السادس : اختبار واختيار المواد
الباب السابع : المعدات الميكانيكية لصيانة المجارى المائية
الباب الثامن : معدات الرى المتطور
الباب التاسع : معدات مراقبة نوعية المياه فى المجارى المائية

المجلد السادس : الأعمال الكهربائية للرى والصرف ويشمل:

الباب الأول : المحركات الكهربية
الباب الثانى : المحولات الكهربية وملحقاتها
الباب الثالث : المفاتيح وتركيبات التوصيلات الكهربائية والوقاية الكهربائية
الباب الرابع : دوائر وأجهزة التحكم فى المحركات الكهربية
الباب الخامس : شروط تنفيذ الأعمال الكهربية
الباب السادس : منظومات طوارىء التغذية الكهربية
الباب السابع : التأريض
الباب الثامن : معدات الرى التى تعمل بالكهرباء

المجلد السابع: تقنيات حماية الشواطىء البحرية ويشمل:

الباب الأول : العوامل الطبيعية المؤثرة على المنطقة الساحلية والشاطئية

الباب الثانى : البحوث والدراسات الحقلية وأعمال النماذج الهيدروليكية الطبيعية والرياضية

الباب الثالث : تخطيط منشآت حماية الشواطئ وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

الباب الرابع : تصميم منشآت الحماية

الباب الخامس : منشآت حماية الشواطئ وصيانتها

فهرس المجلد الخامس
الأعمال الميكانيكية للرى والصرف

الباب الأول المضخات

الباب الثانى محركات الإحتراق الداخلى

الباب الثالث معدات نقل الحركة والقدرة

الباب الرابع المحابس والبوابات

الباب الخامس الوقاية الميكانيكية والكيماوية والحماية الكاثودية

الباب السادس إختبار وإختيار المواد

الباب السابع المعدات الميكانيكية لصيانة المجارى المائية

الباب التاسع معدات مراقبة نوعية المياه فى المجارى المائية

الباب الأول
المضخات

١-١ أنواع المضخات
تصنف المضخات إلى مضخات ازاحه إيجابيه ومضخات توربينيه ذات سريان مختلط.

١-١-١ التصنيف حسب الخواص والتركيب
يعتمد التصنيف الأولى للمضخات على الخواص المختلفة لقلب المضخه من حيث الأنواع المختلفة للمراوح وكذلك على التصميمات المختلفة للغلاف ....الخ وهذا التصنيف مبين فى جدول (١-١).

جدول (١-١) تصنيف المضخات التوربينيه حسب الخواص والتركيب

التصنيف				مدى التطبيق		مواصفات
				القطر (مم)	الرفع (م)	الكود
المضخات القطرية	أفقية	مفردة السحب	مرحلة واحدة	٤٠ ـ ٨٠٠	٥ ـ ٥٠	أ
			متعددة المراحل	٤٠ ـ ٥٠٠	٢٠ـ٣٠٠	
		مزدوجة السحب	مرحلة واحدة	١٥٠ فأكثر	٥ ـ ١٢٠	ب
			متعددة المراحل	٣٠٠ فأكثر	٦٠ ـ ١٥٠	
	رأسية	مفردة السحب	مرحلة واحدة	٤٠ ـ ٢٠٠	٥ ـ ١٢٠	ج
			متعددة المراحل	٥٠ ـ ٥٠٠	٢٠ ـ ٣٠٠	
		مزدوجة السحب	مرحلة واحدة	٣٠٠ فأكثر	٥ ـ ١٢٠	د
			متعددة المراحل	٣٠٠ فأكثر	٦٠ ـ ١٥٠	
مضخات الانسياب المختلط		أفقية	مرحلة واحدة	٣٠٠ فأكثر	٣ ـ ٨	هـ
		رأسية	مرحلة واحدة	٢٠٠ فأكثر	٥ ـ ٥٠	و
			متعددة المراحل	٢٠٠ فأكثر	٣٠ ـ ٨٠	
المضخات المحورية		أفقية	مرحلة واحدة	٣٠٠ فأكثر	٤ فأقل	س
		رأسية	مرحلة واحدة	٢٠٠ فأكثر	٥ فأقل	ع

تنقسم المضخات القطرية إلى نوعين أساسيين من حيث طريقة تحويل طاقة الحركة الخارجة من المروحة إلى طاقة ضغط وهما :

١- المضخه الحلزونية
وهى تلك المضخه التى يتم فيها تحويل طاقة الحركة الخارجة من المروحة إلى طاقة ضغط بواسطة الغلاف الحلزونى أو المغزلى حيث يتزايد مقطع الغلاف الحلزونى تدريجيا.

٢- المضخه التوربينية
وفيها تتحول طاقة الحركة الخارجة من المروحة إلى طاقة ضغط بواسطة ريش التوجيه الثابتة التى يمر فيها الماء بعد خروجه من المروحة وتكون مساحة مقطع السريان خلالها متزايدة.

١-١-٢ التصنيف حسب الإستخدام والتركيب
ويتم التصنيف بإعطاء مسميات مناسبة للمضخات تبعا للإستخدام والتركيب الخاص لكل مضخه وجدول (١-٢) يوضح هذا التصنيف حيث يكون الكود الموضح فى هذا الجدول معتمدا على أنواع المضخات التى سبق ذكرها فى جدول (١-١).

جدول (١-٢) مسميات المضخات تبعا للإستخدام والتركيب الخاص

المسمى	كود التطبيق	الشرح بإيجاز
المضخه الحمضية	أ	مضخه نقل السوائل الحمضية (مضخه ضد الأحماض)
مضخه الشوائب	أ	مضخه لمعالجة الشوائب بالغلاية
مضخه طاردة مركزية	أ – د	أسم أخر للمضخه القطرية
مضخه حمل الزيت	أ – د	مضخه نقل الزيت إلى ناقلات الزيت
مضخه متغيرة الخطوة	س ، ع	مضخات يمكن تغيير ريش مروحتها
مضخه كوبلن	س ، ع	مضخات ريشها متغيرة الخطوة
مضخات الرمال	أ ، ب ، ج	مضخه تستخدم لنقل مياه تحتوى على أتربة ، رمال ، فحم مجروش أو خبث
مضخه شفاط	أ ، ب	مضخه تسحب الرمال من قاع البحر
مضخه سحب ذاتي	أ ، ب	مضخه تسحب بنفسها ولا تحتاج إلى أجهزة تحضير
مضخه مصب	أ ، ب	مضخه تعمل وهى محمولة مع محركها على قاعدة وتكون القاعدة معلقة عند عمق محدد طبقا لتغير مستوى المياه
مضخه تحضير ذاتي	أ ، ب	مضخه سحب ذاتي
مضخه ذات غلاف	أ – د	مضخه طاردة مركزية أو مضخه حلزونية

المسمى	كود التطبيق	الشرح بإيجاز
حلزونى مفرد		
مضخه ذات غلاف حلزونى مزدوج	أ – ب	مضخه حلزونية ذات غلاف حلزونى مقسم إلى قسمين
مضخه إزالة الصدأ (إزالة القشور)	أ	مضخه ضغط عالى لإزالة الصدأ فى عمليات الدرفلة للحديد
مضخه المرفأ	أ – ب – ج – د – و	مضخه نزح لتعويم السفن أو تجفيف المرفأ
مضخه مزدوجة الغلاف	أ	مضخه ذات غلاف مزدوج أى لها غلافان داخلى وخارجي
مضخه عدم انسداد	أ	مضخه تقاوم انسداد المروحة بالمواد الصلبة التى يحتويها السائل المتداول
مضخه (برميلية)	أ	مضخه ذات غلاف مزدوج والغلاف الخارجى لها أسطوانى الشكل
مضخه موازنة	أ - ب	مضخه نقل مياه لإتزان السفن
مضخه لباب Pulp	أ - ب	تقوم بنقل لباب الورق أو المواد الليفية
مضخه رأسية	ج - ع	مضخه حلزونية رأسية ذات حجم صغير أو مضخه محورية السريان
مضخه الجمة Bilge	ج	مضخه لتصريف الجمة (المياه القذرة من السفينة)
مضخه تكثيف	أ – ب – ج – د - و	مضخه استخراج ونقل السائل المكثف
مضخه إجراءات	أ – ب - ج	مضخه لنقل المحاليل فى العمليات الإنتاجية
مضخه ارتوازية Bore Hole Pump	أ	مضخه ترفع مياه من الآبار الارتوازية
مضخه تغذية الغلاية	أ	مضخه تغذية الغلاية بالمياه

١-٢ مواصفات المضخات

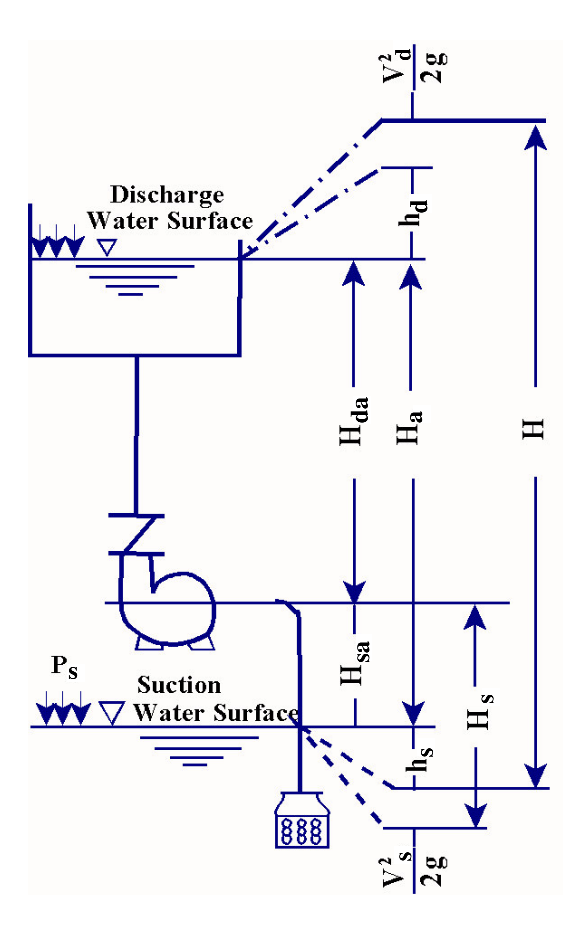
١-٢-١ الرفع

عند رفع مياه بواسطة مضخه من مستوى السحب إلى مستوى الطرد كما هو موضح فى الشكل رقم (١-١).

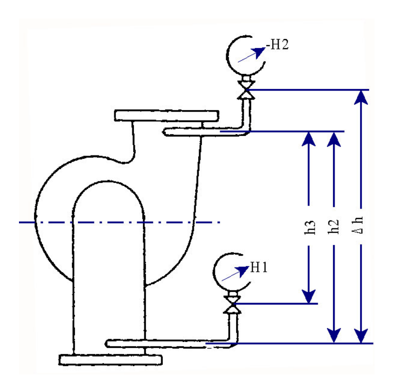
$$H = H_a + h_l + \frac{v_d^{\,2}}{2g} + \frac{10 \text{ x } (P_d - P_s)}{\gamma} \qquad (1\text{-}1)$$

حيث

H_a – رفع الضغط الأستاتيكى "الرفع الفعلى"	(متر)
h_l – رفع المفاقيد الكلى	(متر)
v_d – السرعة عند نهاية أنبوب الطرد	(متر / ثانية)
$\frac{v_d^{\,2}}{2g}$ - رفع السرعة عند نهاية أنبوب الطرد	(متر)
P_d – الضغط على سطح السائل عند منسوب الطرد	(بسكال)
P_s – ضغط سطح السائل عند مستوى السحب	(بسكال)
γ - الوزن النوعى للسائل المتداول	(نيوتن / متر٣)



شكل (١-١) منظومة سحب وطرد المياه



شكل (١-٢) قراءات أجهزة قياس الضغط وفرق الارتفاع عند نقط قياس الضغط للمضخه

وتبعا للشكل (١-١) يكون :

H الرفع الكلى

H_a الرفع الفعلى "الأستاتيكى"

H_{sa} الرفع الفعلى فى جانب السحب "الأستاتيكى"

H_{da} الرفع الفعلى فى جانب الطرد "الأستاتيكى"

H_s رفع السحب الكلى

h_s المفاقيد الكلية فى جانب السحب

h_d المفاقيد الكلية فى جانب الطرد

$\frac{V_s^2}{2g}$ رفع السرعة فى جانب السحب

$\frac{V_d^2}{2g}$ رفع السرعة فى جانب الطرد

ويمكن حساب الرفع الديناميكى الكلى عن طريق قراءات عدادات الضغط الموصلة بكل من جانبى السحب و الطرد للمضخه من المعادلة الآتية وذلك حسب شكل (١-٢) :

$$H = H_1 - H_2 + \frac{V_{dg}^2}{2g} - \frac{V_{sg}^2}{2g} + \Delta h \quad \text{..............................} (1-2)$$

حيث

Δh – الفرق فى الارتفاع بين نقطتى القياس (متر)

H_1 – قراءة عداد الضغط المتصل بجانب الطرد (متر عمود سائل)

H_2 – قراءة عداد الضغط المتصل بجانب السحب (مترعمود سائل)

$\frac{V^2_{dg}}{2g}$ - رفع السرعة عند نقطة قياس الضغط فى جانب الطرد (متر)

$\frac{V^2_{sg}}{2g}$ - رفع السرعة عند نقطة القياس فى جانب السحب (متر)

عندما يكون قطر كل من مواسير السحب والطرد عند نقطة قياس الضغط متساوية فإن رفع الضغط الديناميكى الكلى يحسب من المعادلة الآتية :

$$H = H_1 - H_2 + \Delta h \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-3)$$

المعادلة (1-2) تبين قيم H_2 , H_1 منسوبة إلى الضغط الجوى فإذا كانت قراءات الضغوط المقاسة موجبة يطلق عليه ضغط مقاس ، أما إذا كانت قراءات الضغط المقاسة سالبة فإنه يطلق عليه ضغط تفريغ.

قراءة عداد الضغط الموصل على جانب السحب	قراءة عداد الضغط الموصل على جانب الطرد	قراءة الفرق بين نقطتى القياس
تحت مستوى الضغط الجوى	تحت مستوى الضغط الجوى	Δh
أقل من الضغط الجوى	أقل من الضغط الجوى	h_2
أعلى من الضغط الجوى	أعلى من الضغط الجوى	h_3

١-٢-٢ التصرف

يعرف التصرف بأنة حجم ما تضخه المضخه من السائل فى وحدة الزمن ويمكن التعبير عن التصرف بوحدات (لتر لكل ثانية) أو (متر مكعب لكل ثانية) أو (متر مكعب لكل ساعة) ....الخ.

١-٢-٣ السرعة

هى سرعة دوران المضخه اللازمة لتحقيق مواصفاتها (الرفع الديناميكى الكلى والتصرف) ويعبر عنها بوحدات (لفه فى الدقيقة).
سرعة المضخه لها تأثير كبير على تركيبها وأدائها (التصرف – الرفع الكلى – القدرة المستهلكة) ومما يدل على خصائصها ولذلك يجب أن تختار سرعة المضخه المناسبة لمنظومة معينة بعناية فائقة.

١-٢-٤ كفاءة المضخه والقدرة على عمود المضخه

يعرف الشغل الذى اكتسبه المائع من المضخه بالقدرة المائية كما تعرف النسبة بين القدرة المائية والقدرة على عمود المضخه بكفاءة المضخه.

$$\eta_p = WHP / SHP \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-4)$$

حيث
WHP – القدرة المائية
SHP – القدرة على عامود المضخه
η_p – كفاءة المضخه

ويمكن حساب القدرة على عمود المضخه بالعلاقة الآتية :

$$SHP = 9{,}8 \; y\,Q\,H \;/\; \eta_p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-5)$$

ويضاف إلى ذلك معامل زيادة إضافية للقدرة (١,٢ – ١,١ فى حالة المحركات الكهربائية و ١,١ – ١,٢٥ لمحركات الاحتراق الداخلى).

تختلف كفاءة المضخه باختلاف طرازها وقطرها ومواصفاتها ولذلك عند إجراء الحسابات الخاصة بتحديد قدرة العمود لابد أن نأخذ فى الاعتبار المواصفات الخاصة بأجزاء المضخه.

١-٢-٥ السرعة النوعية (n_s)

تصميم المروحة عامل أساسى لتحديد نوع وشكل المضخه. والعوامل الأساسية التى تحدد شكل وأبعاد المروحة هى : معدل التصرف ، الرفع الديناميكى الكلى والسرعة. وتتغير هذه العوامل الثلاث بتغير الغرض والتطبيق الذى تستخدم فيه المضخه.

تعرف السرعة النوعية بأنها عدد الدورات فى الدقيقة التى تدور بها مروحة مماثلة لها هندسيا عندما تعطى معدل تصرف قدرة ١ م٣ / ث عند رفع ١ متر. ويمكن التعبير عن هذه السرعة النوعية بالعلاقة الآتية :

$$n_s = n\frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-6)$$

حيث

n – السرعة (لفة / دقيقة)

Q – معدل التصرف (م٣ / ث)

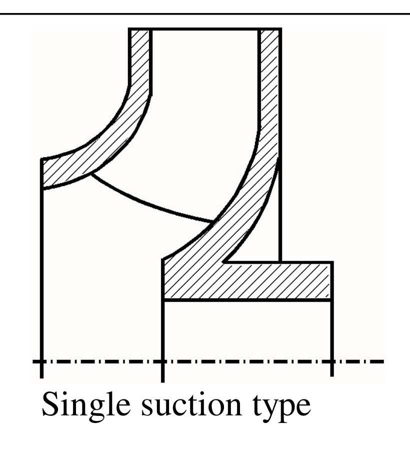
H – الرفع الديناميكى الكلى (متر)

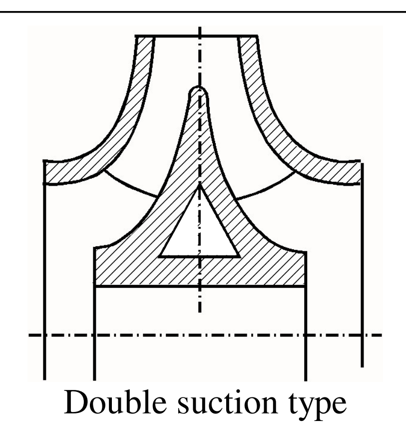
والسرعة النوعية تحسب بإستخدام الرفع الكلى الناتج من مرحلة واحدة فى حالة المضخات متعددة المراحل وتحسب أيضا باستخدام نصف معدل التصرف (معدل التصرف لجانب واحد من المروحة) فى حالة المضخات ذات السحب المزدوج.

شكل (١-٣) يوضح العلاقة بين تصميم المروحة والسرعة النوعية n_s حيث يتضح من دراسته أنه عندما تكون النسبة بين كل من ارتفاع ريش المروحة إلى قطرها عند المدخل والمخرج كبيرة تكون n_s كبيرة. لذا تكون السرعة النوعية n_s صغيرة بالنسبة لمضخات الطرد المركزى وبزيادة قيمة n_s يتغير نوع المضخه إلى مضخه ذات سريان مختلط وإذا زادت السرعة النوعية n_s أكثر تتحول المضخه إلى مضخه ذات سريان محورى.

Impeller Design	1	2	3	4	5
n_s	15	25	50	115	180
Classification	Volute Pumps			Mixed Flow	Axial Flow

شكل (١-٣)





شكل (١-٤)

شكل (١-٤) يوضح مروحة مضخه قطرية ذات سحب مفرد ومروحة مضخه قطرية ذات سحب مزدوج لهما نفس المواصفات ويلاحظ أنه فى حالة المضخه ذات السحب المزدوج يكون سمك ريش القلب اقل من سمكها فى حالة المضخه ذات السحب المفرد ومن ثم تكون قيمة السرعة النوعية n_s صغيرة أيضا فى حالة المضخه ذات السحب المزدوج.و لكل نوع من المضخات مدى محدد للسرعة النوعية ومن غير المستحب إختيار مضخه تعمل خارج هذا المدى والذى يوضحه الجدول (١-٣).

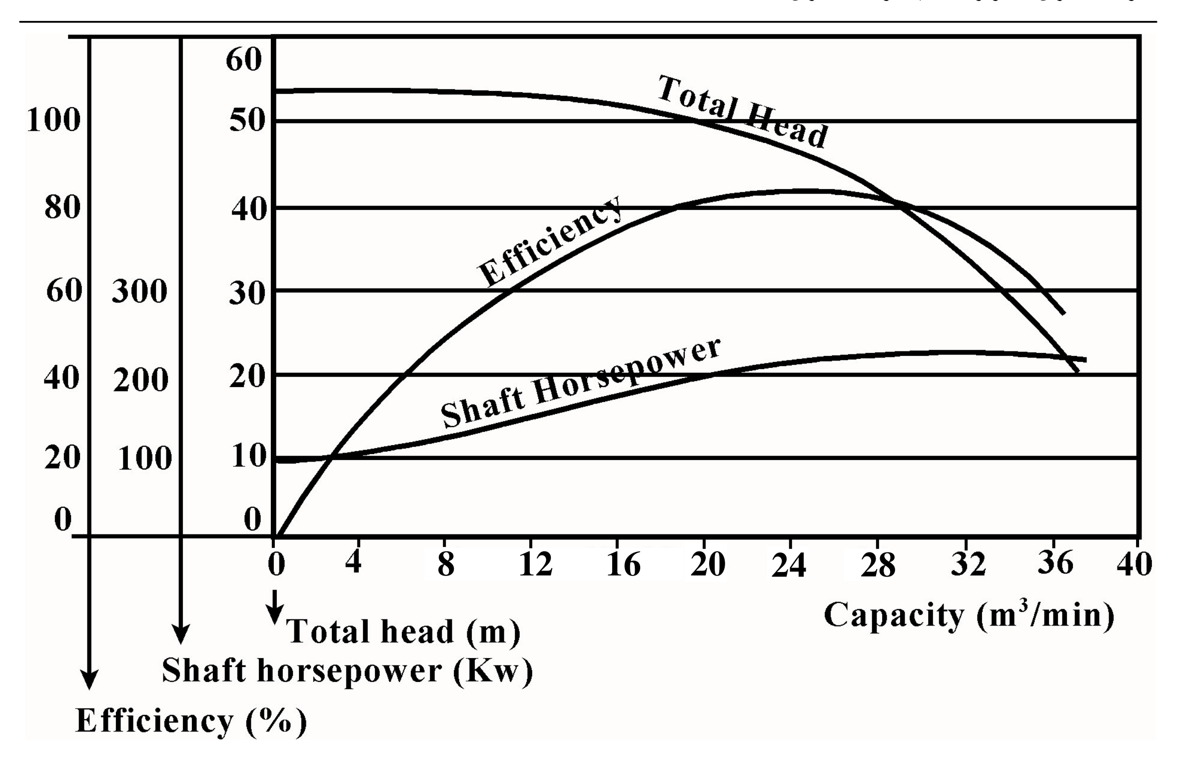
جدول (١-٣) مدى n_s لكل نوع من أنواع المضخات

نوع المضخه	السرعة النوعية n_s
مضخه تربينية	١٥ ــ ٣٥
مضخه طرد مركزي	١٥ ــ ١٠٠
مضخه ذات سرين مختلط	٩٠ ــ ١٣٠
مضخه محورية	١٧٠ ــ ٢٥٠

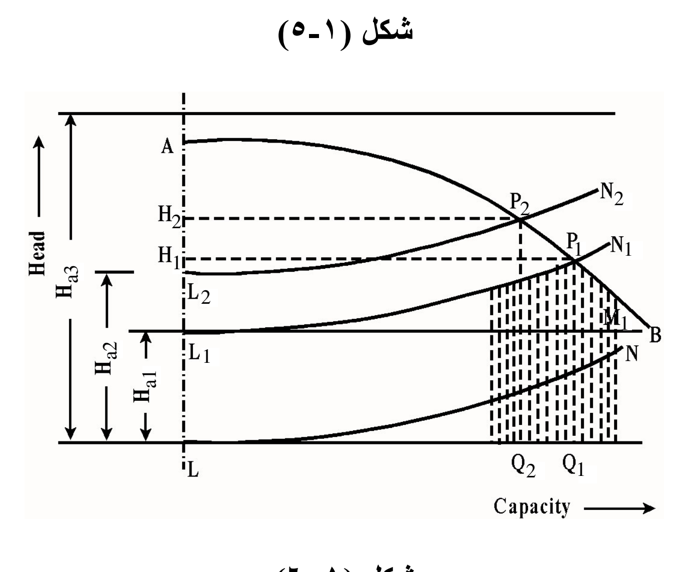
١-٣ خصائص أداء المضخات

١-٣-١ كيفية قراءة منحنيات الأداء

يعبر عن أداء المضخه بمنحنيات توضح خصائصها عند سرعة معينة تسمى منحنيات الأداء كما هو موضح فى شكل (١-٥) حيث يمثل المحور الأفقى معدل التصرف بينما يمثل المحور الرأسى الرفع الكلى والقدرة على العمود والكفاءة الكلية.



شكل (١-٥)



شكل (١- ٦)

وباستخدام هذه المنحنيات يمكننا تحديد الرفع الكلى والقدرة على العمود وكذلك الكفاءة لمضخه عند معدل تصرف معين.

١-٣-٢ نقطة تشغيل المضخه

إن مواصفات المضخه تتغير على طول منحنى الرفع الكلى ، لذلك فإنه عند إستخدام مضخه لها مواصفات محددة لرفع المياه يكون من اللازم تحديد نقطة تشغيل هذه المضخه التى تعنى نقطة معينة على منحنى الرفع الكلى والتى تعمل عندها المضخه.

إذا كان رفع الفقد الكلى H_{10} قد تم حسابه عندما يكون معدل التصرف خلال خط مواسير معين Q_0 فإنه يمكن حساب رفع المفاقيد الكلى H_{11} عند معدل تصرف Q_1 مخالف لمعدل التصرف Q_0 ويمر فى نفس خط الأنابيب المشار إليه سابقا من المعادلة الآتية :

$$H_{11} = \mathrm{H}_{10} \frac{\mathrm{Q}_1^{\ 2}}{\mathrm{Q}_0^{\ 2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-7)$$

فى شكل (١-٦) المنحنى AB يمثل منحنى الرفع الكلى لمضخه معينة والمنحنى LN يمثل منحنى المقاومة حيث يبين رفع المفاقيد الكلية فى خط المواسير لمعدلات تصرف مختلفة.

عندما يكون الرفع الأستاتيكى الكلى H_{a1} فإن نقطة تشغيل المضخه هى النقطة P_1 (أى هى نقطة تقاطع المنحنيان $(L_1N_1\ ,\ AB)$ وعندما يكون الرفع الأستاتيكى الكلى H_{a2} تصبح نقطة تشغيل المضخه هى النقطة P_2 .

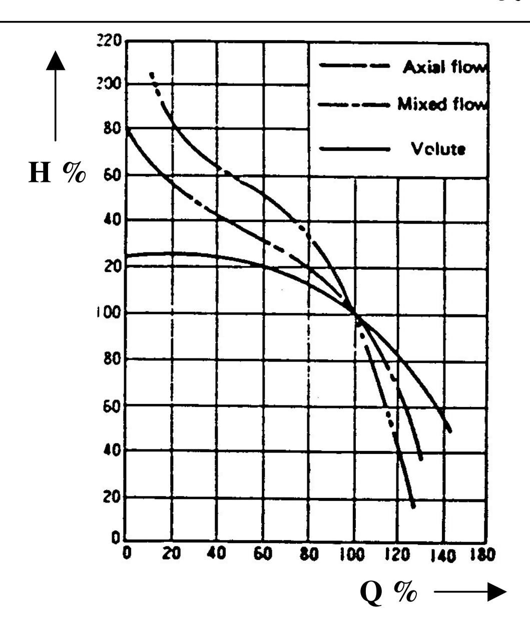
وعندما يزداد الرفع الأستاتيكى الكلى إلى القيمة H_{a3} يكون من المستحيل إستخدام هذه المضخه.

١-٣-٣ الاختلافات فى الخواص بين مضخات الطرد المركزى ومضخات السريان المختلط والمضخات محورية السريان

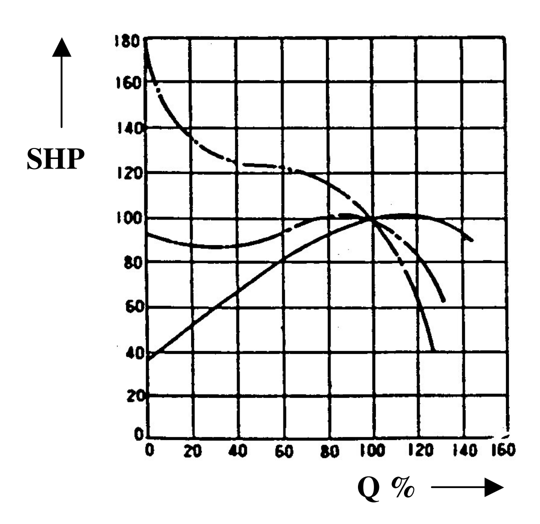
تتغير خصائص المضخه بتغير نوعها ولذلك عند إختيار مضخه يلزم الإلمام التام بخصائص كل أنواع المضخات المتاحة والأشكال (١-٧) ، (١-٨) ، (١-٩) توضح مقارنة بين خصائص مضخات الطرد المركزى والمضخات المختلطة السريان والمضخات المحورية حيث تختلف الخصائص بتغير نوع المضخه وأن منحنيات النسب المئوية للأنواع الثلاث من المضخات تتقاطع عند كفاءة قصوى تساوى ١٠٠% .

١- منحنى الرفع الكلى

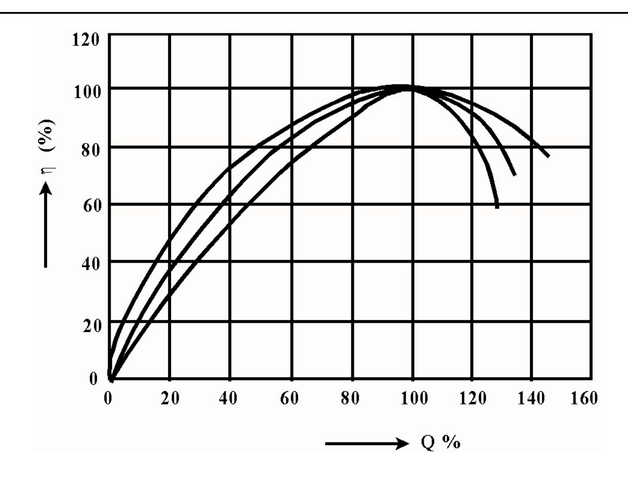
يوضح الشكل (١-٧) أن الرفع الكلى يقل بزيادة معدل التصرف للأنواع الثلاثة من المضخات ويكون الرفع الكلى عند معدل تصرف مساوى للصفر منسوبا إلى الرفع الكلى عند نقطة أقصى كفاءة فى حدود ١٢٠ % إلى ١٤٠ % فى حالة المضخه الطاردة المركزية بينما يكون من ١٤٠ % إلى ٢٠٠ % فى حالة مضخه السريان المختلط ، وتزداد هذه النسبة إلى ٢٠٠ % فأكثر فى حالة المضخه المحورية السريان.



شكل (١-٧) منحنى الرفع ــ التصرف



شكل (١-٨) منحنى القدرة - التصرف



شكل (١-٩) منحنى الكفاءة - التصرف

٢- منحنى القدرة على عمود المضخه ومنحنى الكفاءة

يوضح شكل (١-٨) أن القدرة اللازمة لإدارة المضخه تزداد بزيادة معدل التصرف فى حالة المضخه الطاردة المركزية بينما تزداد القدرة بنقص معدل التصرف فى حالة المضخه ذات السريان المحورى.

ولذلك يكون من الأفضل بدء تشغيل المضخه الطاردة المركزية وصمام الطرد مغلق تماما وذلك لتقليل عزم بدء الدوران ، بينما فى حالة المضخه المحورية السريان لا يفضل بدء التشغيل عند معدل تصرف يساوى صفر لأن القدرة اللازمة للتشغيل فى هذه الحالة تكون كبيرة.

ويتضح من الشكل أن القدرة اللازمة لإدارة مضخه طاردة مركزية عند تصرف يساوى صفر منسوبة إلى القدرة اللازمة للإدارة عند نقطة أقصى كفاءة تكون فى حدود من ٣٠ % إلى ٥٠ % بينما تكون هذه النسبة فى حالة المضخه المختلطة السريان فى حدود من ٨٠ % إلى ١٢٠ % أما فى حالة المضخات المحورية السريان فتزداد هذه النسبة لتصبح من ١٨٠ % إلى ٢٥٠ % .

١-٣-٤ خواص المضخات عند تغير السرعة

عندما تكون سرعة المضخه ثابتة فإنه يمكن التعبير عن خصائص المضخه بواسطة منحنيات الأداء ، ولكن عند تغير سرعة المضخه فإن الخصائص تتغير أيضا. والعلاقة بين خصائص أداء المضخه عند نقطتين P_1 , P_2 يمكن التعبير عنها بعلاقات التماثل الآتية :

$$Q_2 = Q_1.(n_2/n_1)$$
$$H_2 = H_1.(n_2/n_1)^2 \qquad (1\text{-}8)$$
$$SHP_2 = SHP_1\ (n_2/n_1)^3$$
$$\eta_1 = \eta_2$$

والعلاقات السابقة توضح أن معدل التصرف يتناسب طرديا مع نسبة السرعة بينما يتناسب الرفع طرديا مع مربع نسبة السرعة وتتناسب القدرة طرديا مع مكعب نسبة السرعة وتكون الكفاءة ثابتة عند كل من السرعتين.

والمعادلات (١-٨) صالحة لكل أنواع المضخات عندما يكون التغير فى السرعة فى حدود من ٢٠ % إلى ٣٠ %.

١-٣-٥ التكهف فى المضخات

عندما ترتفع درجة الحرارة أو ينخفض الضغط أو عند ثبوت درجة الحرارة وانخفاض الضغط يبدأ السائل فى التبخر والتحول إلى غاز ويسمى الضغط الذى يبدأ عنده السائل فى التبخر بالضغط الحرج للسائل عند درجة حرارة معينة أو ضغط التبخر. وفى المضخات يكون الضغط منخفضا عند مدخل المروحة فإذا قل هذا الضغط عن ضغط التبخر للسائل المتداول يبدأ السائل فى التبخر جزئيا وتحدث بذلك ظاهرة التكهف. وعندما يصل هذا السائل الذى يحتوى على فقاعات من البخار إلى مكان ذى ضغط مرتفع فإن فقاعات البخار تتكثف وتختفى لحظيا ويتحرك السائل إلى مكانها من المحيط مسببا صدمات فى المروحة مصحوبة بصوت عال وإهتزازات عنيفة لجسم المضخه وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة التكهف.
ولتجنب ظاهرة التكهف فى المضخات يجب أن يكون أقل ضغط فى المضخه (عند المدخل أو فى الممرات بين الريش) أكبر من ضغط تبخر السائل عند درجة حرارة التشغيل. وسوف يتحقق من المعادلة الآتية :

$$(P_v / \gamma) \leq (P_s / \gamma) - (H_{sa} + h_s + \frac{V_s^2}{2g} + \sigma H) \qquad (1-9)$$

P_v – ضغط التبخر	(بسكال)
(P_v / γ) – رفع التبخر	(متر من السائل المتداول)
γ الوزن النوعى للسائل المتداول	(نيوتن / م^٣)
P_s الضغط عند مستوى السحب	(بسكال)
H_{sa} رفع السحب الفعلى	(متر)
h_s المفاقيد الكلية فى جانب السحب	(متر)
$\frac{V_s^2}{2g}$ رفع السرعة فى جانب السحب	(متر)
σH الفقد فى الرفع عند مدخل الريشة	(متر)

١-٣-٦ تغير أداء المضخه مع السوائل الخاصة

يختبر أداء المضخات عموما بإستخدام المياه النقية عند درجة الحرارة العادية. ويتغير أداء المضخات عند تغير درجة حرارة السائل أو خواصه (وزنه النسبى أو لزوجته) عن خصائص المياه النقية عند درجة الحرارة العادية أو عندما يحتوى السائل على جزيئات صلبة.

١- تأثير درجة الحرارة

خصائص أداء المضخه لا تعتمد على درجة الحرارة نفسها ولكن تغير درجة الحرارة يؤدى إلى تغير خصائص السائل (الوزن النسبى – اللزوجة – ضغط التبخر ....الخ) ولذلك يجب دراسة تأثير تغير هذه العوامل على أداء المضخات بالمقارنة بالمياه النقية.

وعند تصميم مضخه تعمل عند درجات حرارة عالية يجب مراعاة أن تتحمل أجزاؤها والمواسير الموصلة بها الاجهادات الناتجة عن تغير درجة الحرارة وكذلك إختيار المعدن المناسب لتصميم أجزائها فى هذه الحالة. ولذلك يجب مراعاة تأثير زيادة درجة الحرارة على حدوث ظاهرة التكهف.

٢- تأثير الوزن النسبى

عند إختيار مضخه تدفع سائل وزنه النسبى (γ) بمياه نقية عند درجة الحرارة العادية ($\gamma = 1$) وعندما تكون اللزوجة لكل من السائل المتداول والمياه النقية متساوية فإن :

- معدل التصرف الحجمى للسائل المتداول (متر^{3} / دقيقة) = معدل التصرف للمياه النقية (متر^{3} / دقيقة)
- ويكون معدل التصرف الوزنى للسائل المتداول (١ طن / دقيقة) = γ (معدل التصرف الحجمى للمياه النقية)
- الضغط للسائل المتداول (بسكال) = ($10 / \gamma$) x الرفع للمياه النقية (متر)
- القدرة على العمود السائل (كيلووات) = γ x القدرة على العمود للمياه النقية (كيلووات)

٣- تأثير اللزوجة

عندما يتعرض المائع إلى قوى قص خارجية فإن له خاصية مقاومة هذه القوى وهذه الخاصية تسمى اللزوجة. واللزوجة تؤدى إلى تناقص سرعة المائع كلما اقتربنا من الجدار أو القناة التى يحدث فيها السريان وذلك نتيجة مقاومة المائع للحركة الناتجة عن قوى القص الخارجية المؤثرة على المائع والمسببة لحركته مما تنتج عنه المفاقيد فى الاحتكاك أثناء نقل الموائع. أى أن الفقد على الجدار الجانبى يزداد بزيادة اللزوجة ولذلك فإن السعة (التصرف) والرفع ينخفضان بينما تزداد القدرة على العامود لأن مقاومة المائع للسريان تزداد وتبعا لذلك فإن كفاءة المضخه تقل.

٤- تأثير المواد الصلبة الموجودة بالسائل المتداول

عندما يكون السائل المتداول محتويا على مواد صلبة فإن الوزن النسبى (γ) للسائل يتغير تبعا لكمية المواد الصلبة التى يحتويها ونوعها بالإضافة إلى ذلك تتغير اللزوجة ، وعندما يكون حجم الحبيبات كبيرا تتغير خصائص أداء المضخه بتغير حجم الحبيبات الموجودة بالسائل بمقارنته بالمياه النقية. فى حالة السائل الذى يحتوى على حبيبات دقيقة يؤدى إلى حدوث انخفاض صغير فى أداء المضخه وذلك بزيادة كثافته. بينما بالنسبة للسائل الذى يحتوى على حبيبات رمل خشنة ينخفض أداء المضخه مع ارتفاع كثافته. ولذلك يجب عند إختيار نوع المضخه ومواصفاتها أن يكون لدينا فكرة واضحة عن نوع السائل المتداول وخصائصه.

١-٤ المكونات الرئيسية للمضخه

١-٤-١ المروحة

إن العامل الأكثر أهمية فى تصميم مروحة المضخه هو السرعة النوعية n_s (١-٢-٥) وعلى أساس ذلك يمكن تصنيف التصميمات المختلفة لمراوح المضخات والتى سبق توضيحها فى شكلى (١-٣) ، (١-٤) وهى :

١- مروحة ذات سريان قطرى

فى هذا النوع من المراوح يكون سريان الماء خلالها فى مستوى متعامد تقريبا مع محور المروحة. والمروحتان رقم (١) ، (٢) فى شكل (١-٣) ينتميان إلى هذا النوع ويكون شكل ريش المروحة ذا بعدين.

٢- مروحة فرانسيس Francis

والمروحة رقم (٣) فى شكل (١-٣) تنتمى إلى هذا النوع ويكون السريان خلالها ذا مركبتين إحداها قطرية والأخرى محورية ويكون شكل المروحة ذا ثلاثة أبعاد.

٣- مروحة السريان المختلط

المروحة رقم (٤) فى شكل (١-٣) تمثل هذه النوع وهى تتميز بنفس اتجاه السريان فى مروحة فرانسيس بالإضافة إلى أن مخرج الريش أيضا مائل وهذا ما يميزها عن النوع السابق.

٤- مروحة ذات سريان محورى

هذا النوع تمثله المروحة رقم (٥) فى شكل (١-٣) وهو يستخدم فى المضخات المحورية وسريان الماء خلاله يكون فى اتجاه المحور.

وعموما تتكون المروحة من الريش وغطاء أمامى وخلفى للريش بالإضافة إلى الصرة وهى الجزء الذى يتصل بالعمود وتسمى بالنوع المقفول ، وعندما تستعمل المروحة فى مضخه تدفع ماء يحتوى على طمى أو رمل أو لباب Pulp فإنه يمكن أن تكون المروحة بدون غطاء أمامى أو خلفى وتسمى بالنوع المفتوح.

١-٤-٢ الغلاف

وهو الإطار أو العلبة التى تحتوى على المروحة وبه ممرات المياه الداخلة و الخارجة من المروحة ويعتبر جزء أساسى فى تكوين مختلف المضخات لتنظيم سريان الماء حيث يقوم بتحويل جزء من طاقة الحركة بالمياه عند مخرج المروحة إلى طاقة ضغط تؤدى إلى زيادة الضغط الناتج من المضخه ولذلك فإن تصميم الغلاف له تأثير كبير على أداء المضخه.

١-٤-٣ العمود الرئيسى و كراسى التحميل

من المعروف أن المروحة تثبت على عمود الإدارة الرئيسى الذى يثبت بدورة بحيث يضبط المروحة فى مكانها المحدد بواسطة كراسى المحاور و يتصل عمود الإدارة من طرفة الأخر بالقارنة أو صندوق تروس أو بكرة سير على شكل حرف (V).. الخ لنقل الحركة من المحرك إلى المضخه وقطر العامود يتوقف على القدرة المنقولة و يمكن حسابه من المعادلة الآتية :

$$d = k^3 (N/n)^{1/2}$$

حيث

d = قطر العمود (mm)

N = القدرة المنقولة (KW)

K = ثابت (١١٠ – ١٦٠)

n = سرعة الدوران (rpm)

ويتوقف قيمة الثابت K على نوع المضخه والمعدن المصنع منه العامود وعند تحديد قطر العامود يجب أن نأخذ فى الاعتبار عزم الإنحناء والسرعة الحرجة و لبعض السوائل أو التطبيقات يتم حماية عامود الإدارة بجلبة أو حشو من معدن صلب لمنع السائل من أكسدة و إتلاف العمود.

كراسى التحميل تحمل الحمل المؤثر على عامود الإدارة الرئيسى مثل الحمل القطرى الذى يؤثر فى اتجاه عمودى على محور العمود و حمل الدفع المحورى المتولد من المروحة ... الخ.. وهناك طريقتان لتثبيت العمود – الأولى هى التثبيت الكابولى وهى تستخدم لتثبيت العمود من جهة واحدة من المروحة – والطريقة الثانية هى التثبيت من جانبى المروحة. وتستخدم طريقة الكابولى فى مضخات الطرد المركزى المفردة السحب ذات المرحلة الواحدة بينما تستخدم الطريقة الثانيه فى المضخات مزدوجة السحب و المتعددة المراحل والمضخات المحورية السريان والمضخات ذات السريان المختلط ..... الخ وعادة ما تكون الكراسى خارج غلاف المضخه وهناك أيضا مضخات ذات كراسى مغمورة وفيها تكون الكراسى فى غلاف المضخه مثل المضخات الرأسية والمضخات المحورية ومضخات السريان المختلط. وبالنسبة لحمل الدفع المحورى ، عادة ما تزود المضخه بكرسى مستقل للدفع المحورى أو يستخدم كرسى مشترك لكل من الحمل القطرى و الدفع المحورى وبعض المضخات لا تحتاج كراسى دفع محورى لأن عامودها يتم موازنته أتوماتيكيا بقرص اتزان مثل حالة المضخات الحلزونية متعددة المراحل والمفردة السحب. ومن المعروف أن تصميم مكونات كراسى المحاور يتم على أساس أن تكون مقاومة الاحتكاك بها أقل ما يمكن و ذلك لتقليل القدرة المفقودة وكذلك يجب أن يراعى فى تصميم مكوناتها أن تكون مقاومة للتآكل وتتحمل التشغيل لمدة طويلة وأن يكون من السهل عمل الصيانة الروتينية لها.

١-٤-٤ حاكم عامود المضخه

يوضع حاكم عمود المضخه فى الغلاف عند المنطقة التى يركز عليها عامود إدارة المضخه وذلك لمنع تسرب السائل المتداول إلى خارج المضخه أو دخول الهواء إلى المضخه ولذلك يكون مطلوب وجوده بين الجانبين الداخلى والخارجى للغلاف حول عمود المضخه ويوجد نوعان لحاكم عمود المضخه وهما الجلاند ومانع التسرب الميكانيكى.

١-٤-٤-١ الجلاند

يركب فى المضخه على صندوق الحشو ويستعمل للضغط على الحشوات داخل الصندوق لمنع التسرب ويضاف حلقة حشو Lantern ring ويضبط الضغط عن طريق مياه نقية بحيث تمنع دخول الهواء إلى المضخه عندما يكون داخل الغلاف أقل من الضغط الجوى (فى جانب السحب) وتمنع أيضا تسرب الماء إلى الخارج عندما يكون الضغط داخل الغلاف أعلى من الضغط الجوى ، ويجب أن يراعى فى تصميم المضخه توفير وسيلة لتقليل ضغط السائل المؤثر على الجلاند.

وكحشوات تستخدم ضفيرة من القطن ذات مقطع مربع مشبعة بالزيت أو الشحم كمانع للتسريب و يتحدد نوع مانع التسرب المستخدم و شكله و مادة تصنيعه حسب درجة حرارة وطبيعة السائل المتداول.

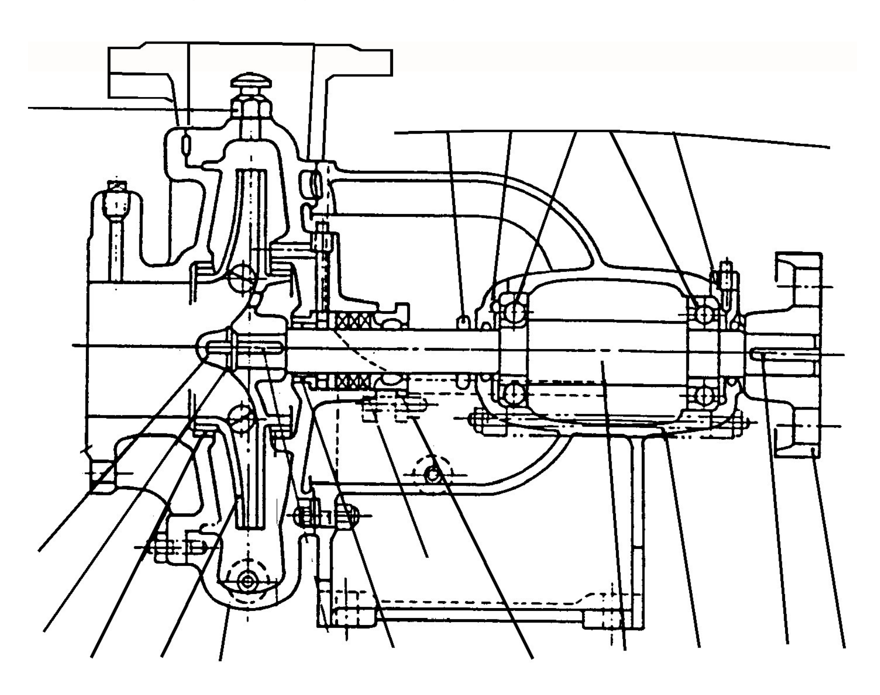
١-٤-٤-٢ مانع التسرب الميكانيكى Mechanical Water Seal

مانع التسرب الميكانيكى له امتيازات كثيرة بمقارنته بجلاند الحشو حيث أنه قادر على منع التسرب تماما ويمنع أيضا الاحتكاك عن عامود الإدارة كما أنه سهل الإستعمال وإذا حدث تآكل فى سطح الانزلاق وبدأ التسرب نتيجة لذلك فإنه يجب إستبداله بآخر جديد لأنه لا يمكن إعادة إحكامه ، ويستخدم لأغراض خاصة والتى يكون مطلوب فيها منع التسرب تماما مثل مضخات البترول ومضخات المحاليل الكيميائية.

١-٥ أنواع أخرى من المضخات

١-٥-١ المضخات ذات الغلاف الحلزونى أحادية السحب

مضخات الطرد المركزى أحادية السحب ذات المرحلة الواحدة ذات تكوين شديد البساطة وأغلبها صغير الحجم حيث يكون القطر الخارجى لمراوحها (٢٠٠ مم) أو أقل ويتغير الرفع الذى تحققه بتغير قطر المروحة ولكن فى معظم الحالات يتراوح الرفع الناتج من المضخه بين (٥ م إلى ٤٠ م) تقريبا بينما تستهلك قدرة حوالى ٣٧ كيلووات أو أقل والشكل (١-١٠) يوضح هذا النوع من المضخات.

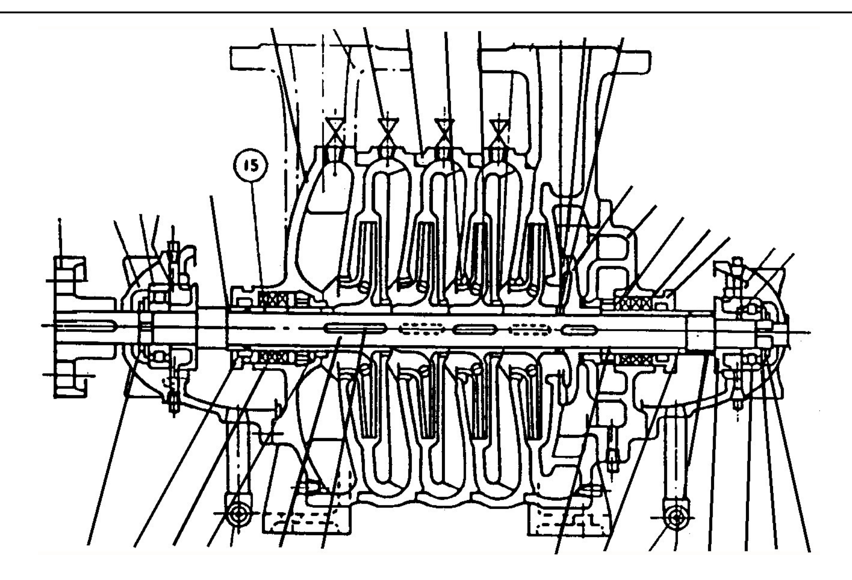


شكل (١-١٠) مضخه طرد مركزى وحيدة المرحلة أحادية السحب

١-٥-٢ مضخات الطرد المركزى متعددة المراحل

مضخات الطرد المركزى متعددة المراحل يكون لها عدد كثير من المراوح ويكون تركيبها معقدا نسبيا وهى فى الحقيقة تعتبر كما لو كانت مجموعة من المضخات ذات المرحلة الواحدة متحدة مجمعة مع بعضها فى غلاف واحد وعموما يكون قطر مراوحها لا يتجاوز (٢٦٠ مم) ولكن فى بعض الحالات قد يصل قطر مراوح المضخه (٣٠٠ مم) أو أكثر عندما يكون الرفع المطلوب حوالى (١٠٠ م).

والمضخات المتعددة المراحل المستعملة فى الأغراض العامة تسمى أيضا بأنها من النوع المجزء والشكل (١-١١) يوضح هذا النوع من المضخات.



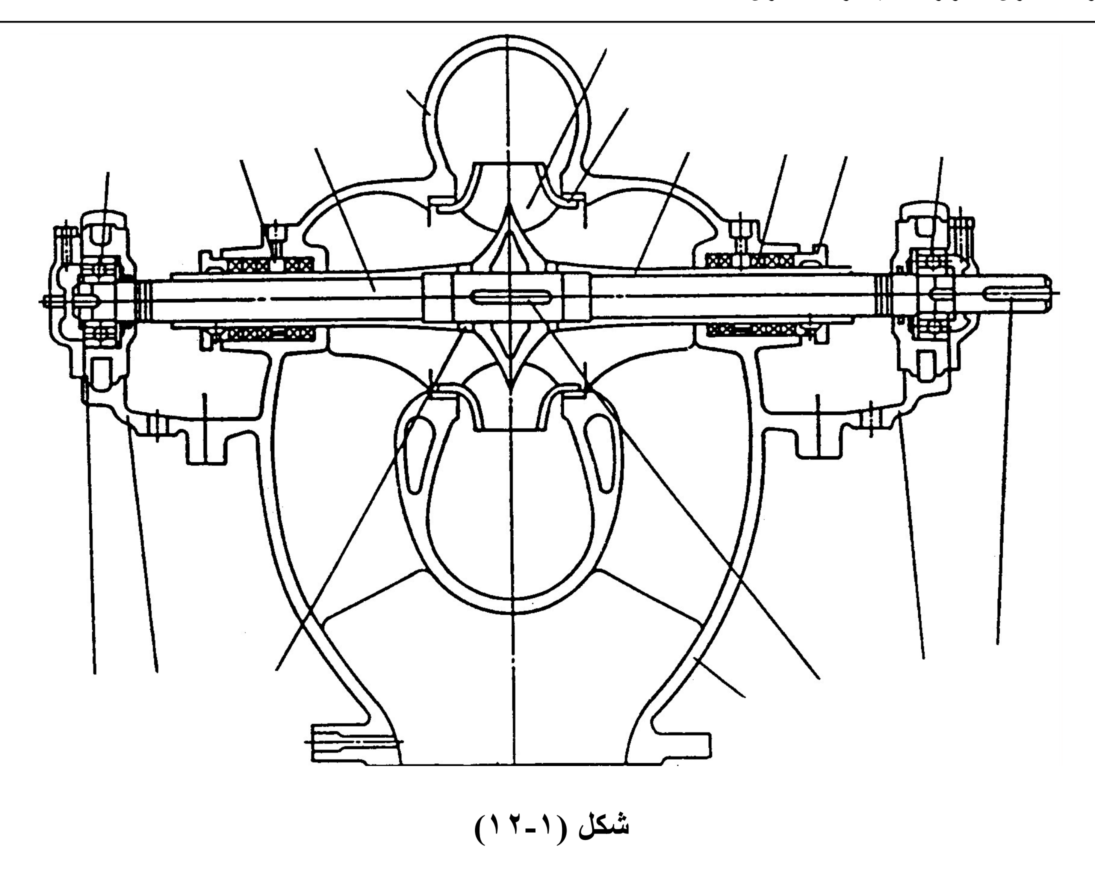
شكل (١-١١) مضخه متعددة المراحل

وهذا النوع من المضخات يشتمل على غلاف سحب وغلاف طرد متوسط حيث تتحد (تجمع) مع بعضها البعض بواسطة مسامير تثبيت والسائل المتداول يرتفع ضغطة أثناء مروره خلال مروحة كل مرحلة حيث يمر خلال مروحة المرحلة الأولى ثم يقاد خلال ممر فى الغلاف الحلزونى المتوسط خلف المروحة إلى مدخل المروحة التى تليها وهكذا حتى يمر خلال مروحة المرحلة الأخيرة ومنها إلى غلاف الطرد الحلزونى ومنه إلى فوهة الطرد.

والدفع المحورى فى المضخات متعددة المراحل يكون كبيرا حيث يتم موازنته أوتوماتيكيا عن طريق قرص أتزان. وقرص الاتزان بسيط فى تشغيله ومعالجته بالإضافة إلى كفاءته العالية فى موازنة قوى الدفع المحورى بمقارنته بكراسى الدفع المحورى ووسائل موازنة الدفع المحورى الأخرى وهو يستخدم فى المضخات ذات معدل التصرف العالى. والأجزاء الدوارة فى المضخه تحمل على كرسيا محور ذى أسطوانات أو كرسيا محور عاديين مثبتين فى غلاف المضخه من الجهتين وعادة ما يزيت النوع الأول بالشحم والنوع الثانى بالزيت.

١-٥-٣ مضخات الطرد المركزى مزدوجة السحب

هناك أنواع كثيرة من المضخات المزدوجة السحب ولكن لا يوجد اختلاف بين تلك الأنواع فى التكوين وشكل (١-١٢) يوضح تركيب مضخه حلزونية مزدوجة السحب.



شكل (١-١٢)

والمضـخات المـزدوجة السـحب يمكن تقسيمها إلـى أنـواع مختلفة حسب طريقة تقسيم الغلاف وموضـع فوهتى السحب والطرد.

والأجزاء الـدوارة مثل المروحة والعمود الرئيسـى ....الـخ تثبت بواسطة كرسيا محور من جانبى الغـلاف والدفـع المحـورى فـى هذا الـنوع مـن المضـخات لا وجـود لـه نظـريا ولكـن فعلـيا يحـدث الدفـع المحـورى نتـيجة الأخطـاء فـى سبك المـروحة ولـذلك فمـن الضـرورى إضـافة وسيلة لمعادلـته أو إخمـاده وتكون كراسـى المحـور المسـتخدمة فـى هذا الـنوع من المضـخات من النوع الذى يتحمل الحمل القطرى ويستخدم فيها كراسى الأسطوانات المتلامسة أو الكراسى العادية إذا استخدمت وسيلة أخرى لمعادلة الدفع المحورى.

١-٥-٤ المضخات المحورية والمضخات ذات السريان المختلط

فـى معظـم الأحـيان توصـل المضـخات المحـورية أو ذات السـريان المخـتلط التـى معـدل تصـرفها صـغير مباشـرة بالمحـرك وعندما تكون سرعة المحرك مختلفة عن السـرعة المطلـوبة لإدارة المضخه يستعمل سير عدل أو علـى شكل حـرف (V) لنقل الحركة بين المحرك والمضخه مع التحكم فى السرعة بإختيار أقطـار طنبورتـى السير المركبتين علـى كل من عمودى المحرك والمضخه - أما بالنسبة للمضخات ذات معدلات التصرف المتوسطة والكبيرة فإنها توصل بالمحرك عن طريق صندوق تروس لتخفيض السرعة وتصـنع المضـخات المحـورية والمخـتلطة السـريان إمـا أفقـية أو رأسـية ومميـزات كـل نـوع مـنها يمكـن توضيحها كما يلى :

مميزات المضخات الأفقية :

١- الأجزاء الرئيسية للمضخه تكون فوق سطح الماء وبالتالى يقل تأثير الصدأ.
٢- الفك والإصلاح سهل جدا لأنه لا يتطلب إلا فك الغلاف الرفعى ولا يكون مطلوب فك المحرك الرئيسى.
٣- يمكن توصيل المضخه بالمحرك الرئيسى بطرق مختلفة ويكون التوصيل شديد السهولة.

مميزات المضخه الرأسية :

١- مروحة المضخه مغمورة فى المياه وبالتالى احتمال حدوث تكهف فى هذا النوع من المضخات قليل.
٢- المساحة الأرضية التى تشغلها المضخه صغيرة.
٣- مضخات التفريغ فى هذا النوع غير مطلوبة ولذلك يكون التشغيل سهلا.
٤- مأوى المضخه يبنى فى موقع مرتفع فتكون غير معرضة للغرق.

١-٥-٥ مضخات خاصة

توجد أنواع من المضخات ذات التكوين الخاص والتى يتم تصنيعها لتناسب التطبيقات الخاصة مثل مضخات الحمأه أو مضخات المجارى الرأسية وهى عبارة عن مضخات حلزونية ذات مرحلة واحدة أحادية السحب ولكنها معدلة للتعامل مع المياه الغير نقية أو المجارى وعندما تحتوى مياه المجارى على مواد صلبة كبيرة الحجم تستعمل مضخه بدون ريش وهى تحتوى على مروحة ممراتها أنبوبية (متسعة).

ومضخات الآبار الارتوازية (Bore hole pump) والمضخات ذات المحرك المغمور تمثل أنواع مختلفة من المضخات الرأسية متعددة المراحل وهى تسمى عموما بمضخات الأعماق وتتعامل مع مياه نقيه تستخدم لرفع مياه الآبار ، وحاليا تستعمل المضخات المغمورة فى مدى واسع لرفع المياه إلى الأماكن المرتفعة ولزيادة ضغط المياه.

بالإضافة إلى ذلك توجد مضخات للتعامل مع الكيماويات لنقل المحاليل الخاصة ومنها المضخات الغير قابلة للصدأ والتآكل والتى تصنع أجزاؤها من نوعية ممتازة من الصلب الذى لا يصدأ.

ومن أمثلة المضخات التى تنقل المياه المحتوية على الرمال أو الفحم المجروش أو أى مواد صلبة على شكل حبيبات مضخات الرمال والمضخات الشفاطة ، وهناك تركيبات مختلفة لهذه المضخات تتوقف على شكل وحجم المواد الصلبة التى تحتويها المياه ومراوحها من النوع المفتوح وعدد ريشها يكون من واحد إلى ثلاث ريش بالإضافة إلى المراوح عديمة الريش ذات الممرات الأنبوبية الواسعة ، وبالإضافة إلى ذلك توجد أنواع مختلفة من المضخات مثل تلك التى تحمى أضلاع ريشها وجوانبها الطولية على جانبى المروحة والمضخه ذات الجوانب المضبوطة طوليا وتلك التى تمد بالمياه على جوانبها الطولية والمضخه المبطنة بالكاوتش اللين وتلك ذات الغلاف المزدوج.

١-٦ قيود إستخدامات المضخات

١-٦-١ مقدمة

يوضح هذا الفصل دليلا لمضخات الطرد المركزى ذات الخدمات المختلفة للمساعدة فى الإختيار الأمثل لها مع ذكر الاحتياطات الواجب توافرها فى عمليات الإستعمال.

١-٦-٢ قيود التصرف الأدنى
حتى لا ترتفع درجة حرارة السائل يكون القيد على الحد الأدنى للتصرف المسموح للمضخه العمل علية والذى يجعل ارتفاع درجة الحرارة فى الحدود المسموحة.
وهناك مجموعة أسباب لهذا القيد هى :
- ازدياد رد الفعل القطرى عند معدلات التصرف الصغيرة.
- زيادة رفع المص الموجب الصافى المطلوب عند التصرف الصغير قد يؤدى إلى حدوث التكهف.
- دوران السائل داخل المضخه يؤدى إلى ارتفاع الضوضاء وقد يؤدى إلى كسر بعض الأجزاء.
- ازدياد نبض منسوب المص والطرد.
- ازدياد القوة المحورية والحمل على كراسى المحاور.

ومن بين العوامل التى تحدد قيمة الحد الأدنى للتصرف المسموح به هى كمية الطاقة التى يتم امتصاصها فى السائل المتداول وسعة المضخه.

وعندما يكون رفع المص الصافى الموجب حرجا فإنه لا يسمح بأن يقل التصرف عن ٢٥ % من سعة المضخه عند نقطة أعلى كفاءة.

وفى حالة المضخات الكبيرة فإن هذا القيد يرتفع ليصل إلى ٧٠ % من قيمة التصرف عند نقطة أعلى كفاءة ويرجع إلى المصنع للتشاور فى حالة الشك فى السرعة المسموحة.

١-٦-٣ قيود على عمق المص

١-٦-٣-١ مقدمة
من بين أهم العوامل التى تؤثر على أداء مضخات الطرد المركزى هى اعتبارات ظروف المص. وعمق المص الزائد أو الغمر غير الكافى لفانوس السحب أو انخفاض رفع المص الموجب الصافى عن المناسب يؤدى إلى انخفاض كبير فى التصرف والكفاءة وفى أحيان أخرى بالإضافة إلى ما سبق قد يؤدى إلى اهتزازات أو الخلخلة.

يجب أن يتوافر أيضا شرطان لتوفير إمكانيات المص المناسب :
١- يجب أن يكون بوق المص تحت سطح السائل.
٢- يجب أن يكون حوض المص ذو تصميم جيد.

وهذان الشرطان يجب توافرهما فى كل الحالات بما فيها حالات المضخات الغاطسة ولكل سرعات الأداء النوعية.

١-٦-٣-٢ مصطلحات منظومة المص
أهم المصطلحات التى توصف بها المنظومة هى :

١- رفع المص (السحب) الكلى :
عندما يكون السائل المتداول هو الماء البارد وعندما تكون منظومة المص بسيطة فإن رفع المص الكلى النسبى هو قراءة عداد ضغط مركب على جانب السحب وقبل المضخه مباشرة.

٢- رفع المص (السحب) الموجب الصافى NPSH

هو المصطلح المناسب للمنظومات الأكثر تعقيدا وخصوصا تلك المتداول فيها سوائل درجة حرارتها قريبة من درجة الغليان.

٣- المص(الغاطس)

هو مصطلح يعبر عن بعد نقطة السحب عن منسوب سطح حوض المص إذا كان الحوض مفتوحا على الغلاف الجوى. وهو كبعد أستاتيكى لا يمكن أن يكون بديلا عن رفع المص الموجب الصافى.

كما لا يمكن أن يحل عمق السحب محل رفع المص الموجب الصافى حيث أن الأول هو الفرق بين رفع المص والرفع الجوى أما رفع المص الصافى الموجب فإنه يوضح مدى بعد رفع المص عن بخار السائل عند درجة حرارة التشغيل.

١-٦-٣-٣ رفع المص الموجب الصافى المتاح NPSHA

Net Positive suction head available

رفع المص الموجب الصافى المتاح هو رفع المص المطلق والمعدل بالنسبة للمستوى الاعتبارى مطروحا منه رفع التشبع عند درجة حرارة السائل المتداول. وهكذا فإن رفع المص الموجب الصافى المتاح هو الرفع المتاح لتعجيل السائل فى مروحة المضخه وهكذا فإن :

$$NPSHA = h_s - h_v = h_{at} + h_{ss} - h_f - h_v \qquad (1\text{-}10)$$

حيث

h_s – رفع المص الكلى (بالمتر)

h_{at} – الرفع المطلق على سطح السائل فى حوض المص (بالمتر)

h_{ss} – عمق السحب الأستاتيكى (متر)

h_f – رفع الفقد على الاحتكاك والفقد الموضعى فى منظومة المص (متر)

h_v – الرفع المطلق لبخار السائل المتداول عند درجة حرارة التشغيل (بسكال)

وعندما يكون الضغط على السطح الحرفى حوض المص (h_p) مساويا لضغط التشبع فإن رفع المص الموجب الصافى المتاح يكون هو الفرق فى الارتفاع الرأسى بين منسوب سطح السائل منسوبا للمستوى الاعتبارى مطروحا منه رفع الفقد على الاحتكاك والفقد الموضعى فى مواسير السحب.

أى أن :

$$NPSHA = h_{ss} - h_f \qquad (1\text{-}11)$$

المعادلة السابقة واسعة الانتشار فى الإستخدام فى تحديد قيمة NPSHA لتركيبات المضخات ولقياس NPSHA فى التركيبات القائمة فعلا بدون منظومة السحب.

والمعادلة المستخدمة فى الحساب لحالات التركيبات القائمة فعلا هى :

$$NPSHA = h_{at} + h_g - \frac{v^2}{2g} - h_v \qquad (1\text{-}12)$$

حيث

h_{at} – الرفع الجوى مقدرا بالمتر

h_g – الرفع النسبى عند فلنشة السحب مقدرا بالمتر

ويلاحظ أن h_g – كمية سالبة أقل من الجوى عند تركيب المضخه أعلى منسوب السحب ، وتكون كمية موجبة أكثر من الجوى عند تركيب المضخه أسفل منسوب السحب

$\frac{v^2}{2g}$ - رفع السرعة عند قياس الرفع

وعندما تستخدم المنظومة ماء فى نظام مفتوح عند مستوى سطح البحر تعتبر درجة الحرارة (٣٠°) هى المرجع وعند تغير درجة الحرارة والارتفاع عن سطح البحر يؤخذ ذلك فى الاعتبار بتغيير الضغط الجوى وضغط التشبع تبعا لتغير الارتفاع عن سطح البحر.

١-٦-٣-٤ رفع المص الموجب الصافى المطلوب NPSHR

رفع المص الموجب الصافى المطلوب هو خاصية من خصائص أداء المضخات ويتم تحديده بالقياسات العملية(إختبار التكهف). وأى منظومة ضخ يجب أن تصمم بحيث يكون NPSHA أكبر من أو على الأقل مساويا لـ NPSHR فى المضخه حتى لا يحدث التكهف.

١-٦-٣-٥ سرعة المص النوعية المطلوبة (n_{sr})

سرعة المص النوعية المطلوبة (n_{sr}) هى رقم نوعى يستخدم لتوصيف خصائص المص للمضخه ويحسب من العلاقة :

$$n_{sr} = n \frac{\sqrt{Q}}{NPSHR^{3/4}} \qquad (1\text{-}13)$$

حيث

n_{sr} – سرعة المص النوعية المطلوبة

n – سرعة دوران المضخه لفة / دقيقة

Q – معدل التصرف (متر^3 / ث)

NPSHR – رفع المص الموجب الصافى المطلوب بالمتر

وعادة تكون القيمة القصوى لسرعة المص النوعية المطلوبة عند أو قريبا من التصرف المناظر لنقطة أعلى كفاءة. ومع ذلك فإنه فى بعض الأحوال تكون نقطة أعلى قيمه (n_{sr}) بعيدا عن أعلى نقطة كفاءة. والقيم العددية الكبيرة للكمية (n_{sr}) تناظر إمكانيات مص جيدة – وتعتمد قيم (n_{sr}) على تصميم دخول وخروج المروحة.

١-٦-٣-٦ سرعة المص النوعية المتاحة (n_{sa})

سرعة المص النوعية المتاحة هى رقم نوعى يستخدم لتوصيف خصائص المص المتاحة لمنظومة الضخ المركب فيها المضخه وتحسب من العلاقة :

$$n_{sa} = \frac{n\sqrt{Q}}{NPSHA^{3/4}} \qquad (1-14)$$

وسرعة المص النوعية المتاحة يجب أن تكون أكبر من أو على الأقل مساوية لسرعة المص النوعية المطلوبة حتى لا يحدث التكهف ، والفرق بين n_{sa} , n_s يعتبر عامل أمان يعتمد على سعة المضخه والقدرة المستهلكة.

١-٦-٤ حدود سرعة دوران المضخه

زيادة سرعة دوران المضخه مع عدم توافر شروط المص الصحيحة يمكن أن يؤدى إلى تآكل شديد مع احتمال الوصول إلى كسر بعض الأجزاء الميكانيكية كنتيجة للضوضاء والإهتزازات الناجمة وحدوث التكهف.

وسرعة المص النوعية المتاحة يعتبر مصدرا جيدا لتحديد أقصى سرعة للمضخه وباعتبار أن n_{sa} المثلى من واقع التجربة العملية (١٦٥) فإن السرعة القصوى المسموح بها لدوران المضخه.

$$n = 165\frac{NPSHA^{3/4}}{\sqrt{Q}} \qquad (1-15)$$

وعندما تكون المضخه مزدوجة السحب فإن Q فى العلاقة السابقة تكون التصرف للوجه الواحد $Q = Q_t / 2$ وهذا يعطى فرصة لزيادة عدد اللفات قبل حدوث التكهف وعندما يكون السائل المتداول بخلاف الماء فإنه يجب اعتبار تأثير خصائص السائل الفيزيائية على سرعة المص النوعية المطلوبة.

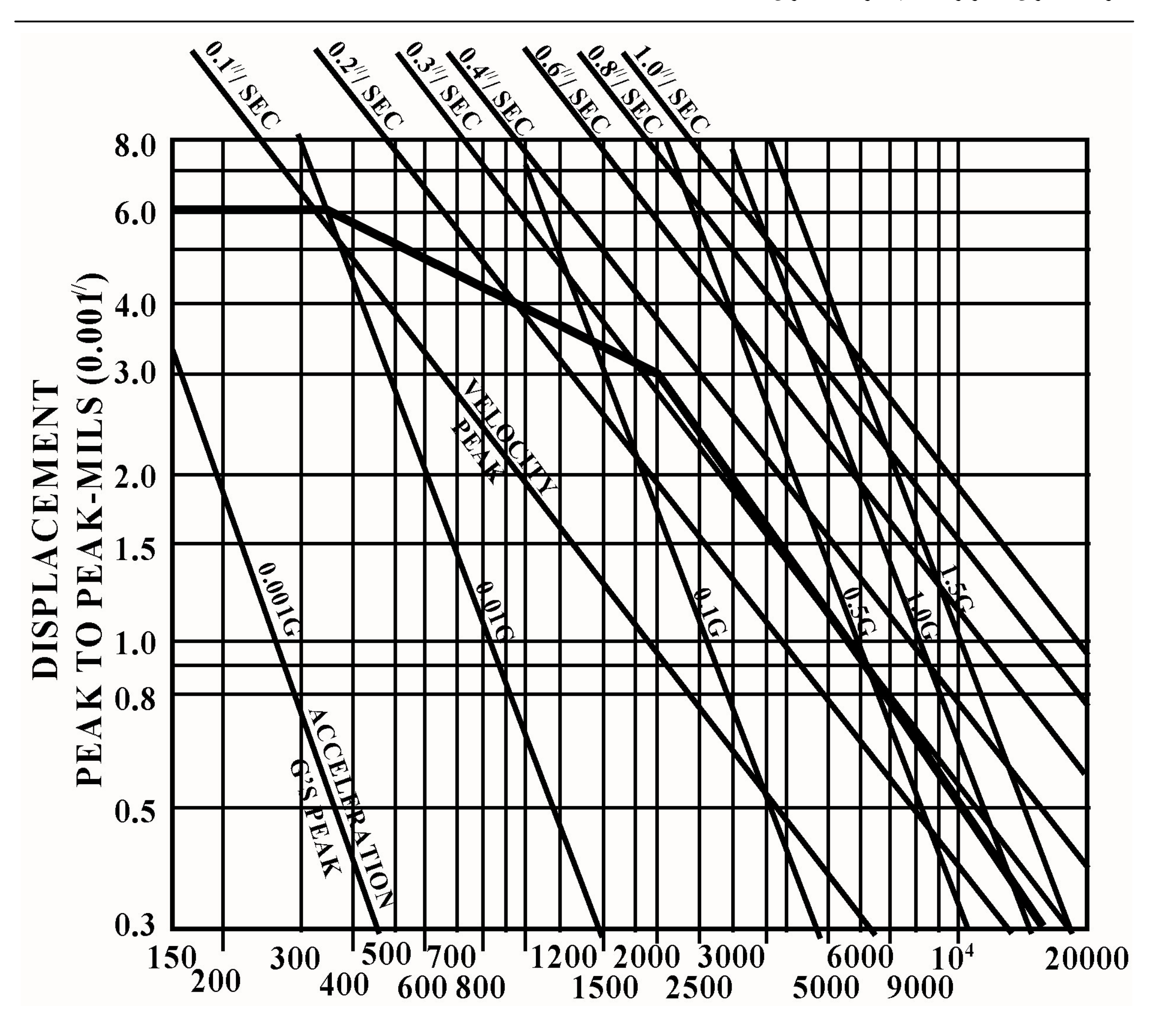
١-٦-٥ إتزان مراوح المضخات

عدم إتزان مراوح المضخات مبعثه إزاحة مركز ثقل المروحة عن محور الدوران على الأقل فى مستوى واحد عمودى على محور دوران المروحة. وعندما تكون الإزاحة خارج نطاق القيمة الموصى بها أشكال (١-١٣) إلى (١-١٦) فإن المضخه تهتز إهتزازا قد يؤدى بها إلى الإكلال أو الكسر.

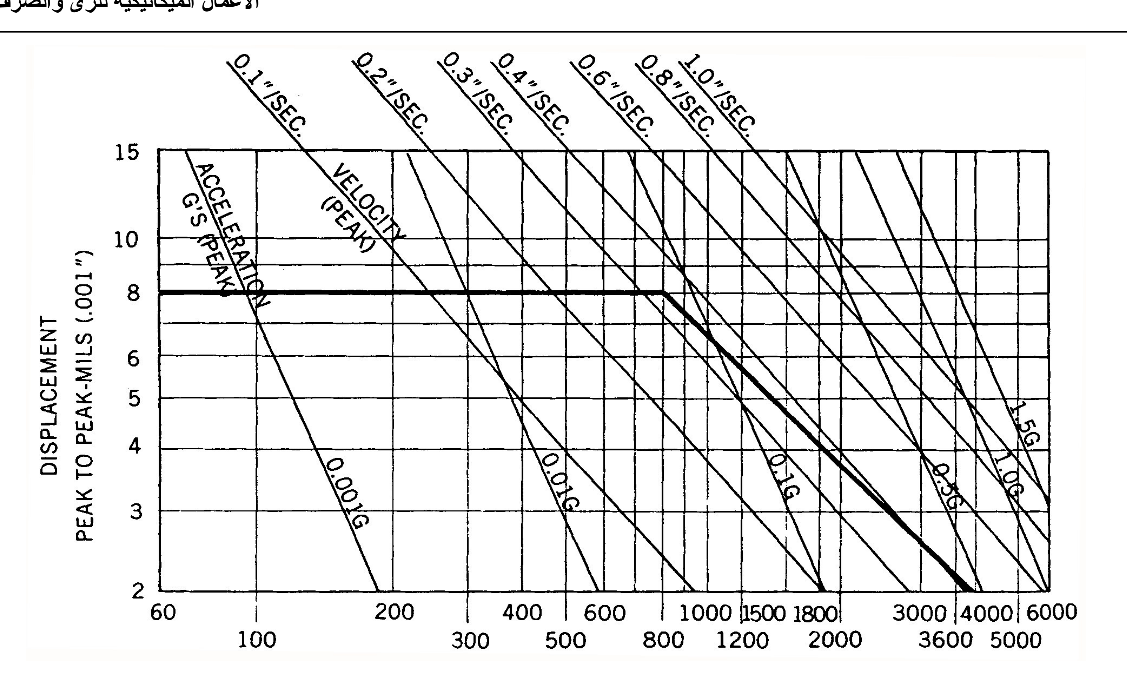
وتقدير القيمة العظمى لعدم الاتزان المسموح بها لمروحة المضخه عملية معقدة للغاية ويجب أن تأخذ فى الاعتبار مجموعة عوامل منها :

- سرعة التشغيل القصوى المسموح بها.
- النسبة بين وزن المروحة إلى وزن المضخه.
- نوع كراسى المحاور.
- رد الفعل الديناميكى للمروحة.
- جسوء فرش المضخه.
- النسبة بين سرعة التشغيل إلى سرعة المروحة.
- طبيعة البيئة المركب فيها المضخه.

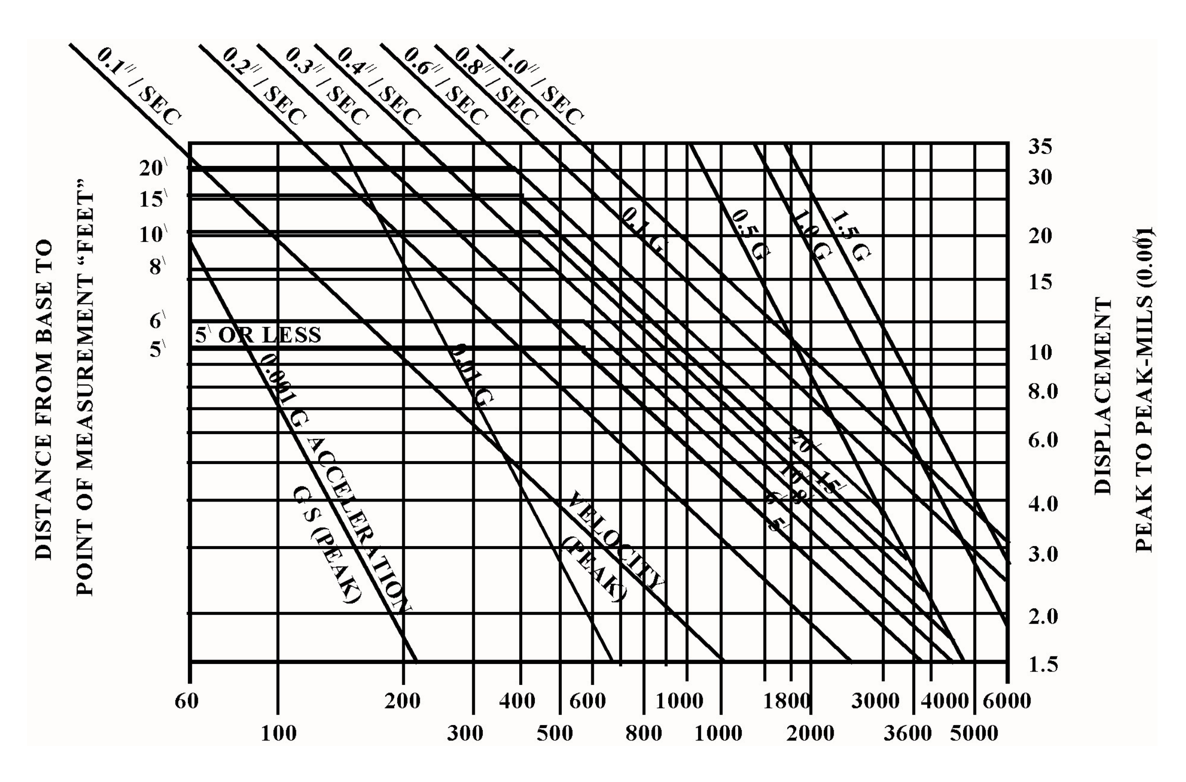
وحيث أن تغير هذه العوامل يكون فى مدى واسع للإستخدامات المختلفة للمضخات فإنه من غير المعقول أن تتم تغطية كل الاحتمالات فى هذه المحاولة للتقنين. ولهذا فإن الطرق التى يتم بها معالجة أتزان المراوح وحدود السماح لكل مضخه يرجع فيها للمصنع.



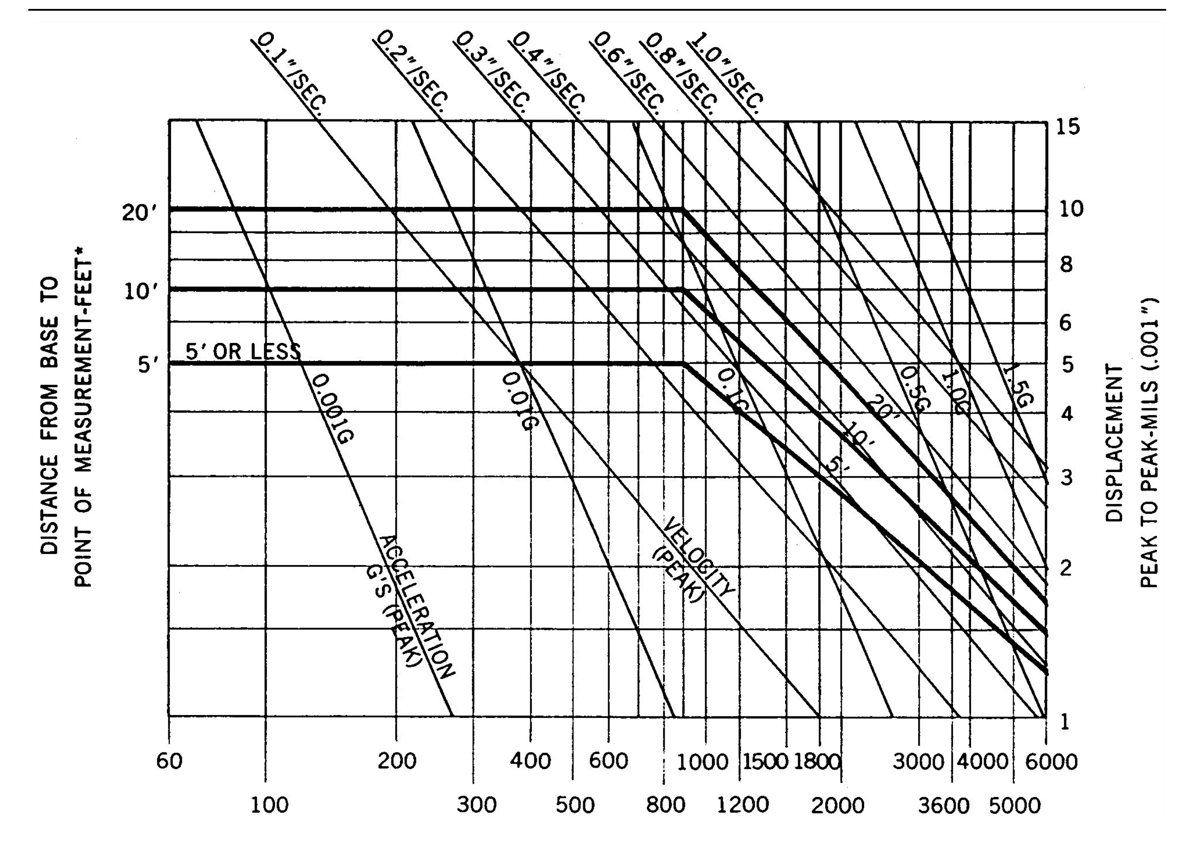
شكل (١-١٣) المدى المسموح للذبذبة المقاسه على مأوى كرسى المحور لمضخه أفقية مثبتة جيدا



شكل (١-١٤) المدى المسموح للذبذبة المقاسه على مأوى كرسى المحور لمضخه أفقية غير مثبتة جيدا



شكل (١-١٥) المدى المسموح للذبذبة المقاسه على مأوى كرسى المحور لمضخه أفقية أو رأسية مركب عليها المحرك ومثبتة جيدا



شكل (١-١٦) المدى المسموح للذبذبة المقاسه على مأوى كرسى المحور لمضخه أفقية أو رأسية مركب عليها المحرك وغير مثبتة جيدا

١-٧ أسس إختيار المضخات

١-٧-١ إختيار المواصفات القياسية

١-٧-١-١ تحديد التصرف

يحدد التصرف (السعة الكلية) تبعا للغرض من تركيب المضخه ذاتها. ومع ذلك من الضرورى تحديد التصرف الأقصى والأدنى فى ظروف التشغيل الفعلية والتصرف السائد من وجهة نظر التشغيل الاقتصادى للمضخه.

١-٧-١-٢ تحديد عدد المضخات

يجب التخطيط لتشغيل الوحدات عند نقطة أعلى كفاءة وأحسن اقتصاديات تشغيل وذلك أخذا فى الاعتبار ظروف (مدى تغير) التصرف وأخطار التشغيل وقيود السعة.

أ- مدى تغير التصرف

التراوح فى التصرف يعتمد على التغير فى ظروف المص والطرد. لهذا يجب أخذ هذا فى الحسبان.

ب- أخطار التشغيل

عدد المضخات الصغيرة يعتبر ميزة من عدة وجوه ولدواعى الطوارئ يوصى بتركيب مجموعتين من المضخات. فى هذه الحالة يستحسن أن تكون المضخات بنفس المواصفات وفى أحيان أخرى تبعا لمدى تغير التصرف فإنه يمكن تركيب وحدات ذات مواصفات مختلفة.

ج- قيود السعة

القطر الأسمى المقاس الأقصى حوالى ١٥٠٠ مم للمضخات ذات الغلاف الحلزونى وحوالى ٢٠٠٠ مم للمضخات المحورية وذات الانسياب المختلط. وبالنسبة للمضخات الرأسية المحورية وذات الانسياب المختلط يمكن أن يكون القطر الأسمى أكبر من ذلك.

عندما يتم تحديد كل من السعة الكلية وعدد المضخات فإن سعة المضخه يمكن تحديدها ، ومن الحكمة تحديد القطر الأسمى للمضخه على أساس معدل التصرف كما هو متبع.

والجدول (١-٤) يوضح العلاقة بين التصرف والقطر الأسمى للمضخه للإستخدام العام والمتوافقة مع معظم اللوائح الفنية الدولية.

جدول (١-٤)

القطر الأسمى		التصرف	
بوصة	مم	متر مكعب / الدقيقة	
٣/٤	٢٠	٠,٠٢٠ إلى ٠,٠٤	
١	٢٥	٠,٠٣	٠,٠٧
١ ١/٤	٣٢	٠,٠٦	٠,١٣
١ ١/٢	٤٠	٠,١	٠,٢
٢	٥٠	٠,١٦	٠,٣٢
٢ ١/٢	٦٥	٠,٢٥	٠,٥
٣	٨٠	٠,٤	٠,٨
٤	١٠٠	٠,٦٣	١,٢٥
٥	١٢٥	١	٢
٦	١٥٠	١,٦	٣,١٥
٧	١٧٥	٢	٤,٢
٨	٢٠٠	٢,٥	٥,٥
١٠	٢٥٠	٤	٨

القطر الأسمى		التصرف
بوصة	مم	متر مكعب / الدقيقة
١٢	٣٠٠	٦,٣ إلى ١٣,٥
١٤	٣٥٠	٦ ١٦
١٦	٤٠٠	١٠ ٢٠
١٨	٤٥٠	١٢ ٢٥
٢٠	٥٠٠	١٦ ٣١
٢٢	٥٥٠	٢٤ ٤٢
٢٤	٦٠٠	٢٥ ٥٠
٢٨	٧٠٠	٣٣ ٦٦
٣٢	٨٠٠	٤٢ ٩٠
٣٦	٩٠٠	٥٠ ١١٠
٤٠	١٠٠٠	٦٠ ١٤٠

ويوصى بإستخدام هذا الجدول فى تحديد قطر المضخه الأسمى مع ملاحظة ما يلى :

أ- مضخات الضغط العالى ذات الغرفة الحلزونية

فى مضخات الضغط العالى تكون سرعة الانسياب عند مخرج المروحة عالية وبالتالى تصبح سرعة الانسياب فى الغرفة الحلزونية عالية. ولهذا يكون القطر الأسمى للمضخه صغيرا.

ولهذا السبب فإن المضخه المزدوجة المص يجب تصميمها على سبيل المثال ليكون قطر السحب ٤٠٠ مم والطرد ٣٠٠ مم.

ب- مضخات الضغط المنخفض ذات الغرفة الحلزونية

عكس الحالة السابقة بالنسبة للمضخات ذات الضغط الأقل من ٥ متر يوصى باستخدام قطر إسمى أكبر من الموجود بالجدول.

ج- المضخات المحورية ذات الانسياب المختلط

يتغير الضغط بصورة كبيرة بتغير التصرف ولهذا يوصى بقراءة كتالوج المضخه بعناية.

د- بخلاف ذلك

فى حالة ما إذا كان رفع السحب صغيرا أو يتم ضخ مائع لزوجته عالية يجب الرجوع إلى كتالوج المضخه وقراءته بعناية.

١-٧-١-٣ تحديد قيمة الرفع الكلى

لحساب الرفع الكلى يلزم حساب فقد الرفع فى المواسير والذى يتكون من جزئين :

أ- رفع الاحتكاك.
ب- رفع التشغيل.

ولحساب فقد الضغط فى المواسير يمكن إستخدام أحدى الطريقتين :

١- طريقة المعادلة النظرية

يمكن إستعمال خرائط مودى لحساب معامل الاحتكاك وحساب فقد الرفع من المعادلة التالية :

$$h = \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2 \times g} \qquad (1\text{-}16)$$

حيث

λ - معامل الاحتكاك
L – طول الماسورة (متر)
v – سرعة الماء فى الماسورة (متر / ث)
g – عجلة الجاذبية (متر / ث^٢)
d – قطر الماسورة (متر)

٢- طرق المعادلة العملية

يمكن إستعمال معادلة هازن – وليام لحساب معامل الفقد فى المواسير المستخدمة فى تداول المائع كما يلى :

$$v = 0.849\ C\ R^{0.63}\ \ S^{0.54} \qquad (1\text{-}17)$$

حيث

v – سرعة الانسياب فى الماسورة (متر / ثانية)
R – القطر المكافئ (بالمتر)
$S = h/L$
h – الفقد فى الاحتكاك (متر)
L - طول الماسورة (متر)
C – ثابت يعتمد على حالة المواسير
C = (١١٠) للمواسير الجديدة من الحديد والصلب المسبوك
= (١٢٠) للمواسير الأسبستوس والبلاستيك

١-٧-١-٤ تحديد قيمة سرعة دوران المضخه

تحديد سرعة المضخه ليس سهلا حيث أنه محدد بالظروف المختلفة ولهذا فإنه يجب الثقة فى المصنع حيث زيادة السرعة يمكن أن تكون أكثر اقتصادية ويمكن أن تؤدى إلى حدوث التكهف (١-٣-٥) بالإضافة إلى مشاكل ميكانيكية أخرى. من ناحية الكفاءة فإن السرعة العالية أو المنخفضة غير مرغوب

فيها ويكون من المفيد الوصول إلى السرعة المثلى. وهكذا فإن تحديد سرعة المضخه يجب أن تترك للمهندس القائم بتصميم المضخه.

١-٧-١-٥ تحديد قيمة القدرة اللازمة للمضخه

تحسب القدرة اللازمة لإدارة المضخه من العلاقة :

$$BHP = C \times \frac{0.163\,\gamma\, QH}{\eta_p \times \eta_t} \qquad (1\text{-}18)$$

حيث

BHP – القدرة الفرملية بالكيلووات

C – ثابت = (١,١٠ : ١,٢٠) فى حالة إستعمال المحركات الكهربية لإدارة المضخه

= (١,١٥ : ١,٢٥) فى حالة إستعمال محركات الاحتراق الداخلى لإدارة المضخه

Q – التصرف م^3 / دقيقة

H – الرفع (متر)

γ - الوزن النسبى للسائل المتداول

= ١ للماء العادي

= ١,٠٣ لماء البحر

η_p - كفاءة المضخه %

η_t - كفاءة نقل القدرة إن وجدت

١-٧-١-٦ إختيار قطر المواسير ومواصفات المضخه للظروف المثلى اقتصاديا

عند إختيار قطر المواسير وتركيبها ومواصفات المضخه يجب مراعاة أن الظروف المثلى لاقتصاديات المنظومة يأخذ فى الاعتبار كل من ثمن المعدات وتكاليف التشغيل والصيانة.

أ- إقتصاديات المواسير

عند إختيار قطر ونوعية المواسير يجب عمل دراسة كاملة للمقاومة فى المواسير والخطوط المستعملة وتأثير الطرق المائي. ويلاحظ أن المقاومة فى خطوط المواسير تتناسب عكسيا مع القطر مرفوعا للأس خمسة وهكذا فإنه لنقل ماء لمسافات طويلة يجب إختيار القطر كبيرا على الرغم من الارتفاع فى تكاليف إنشاء الخط.

وسرعة الماء فى خطوط النقل الطويلة تتراوح بين (٠,٥ – ١,٥) م / ث أما فى المسافات الصغيرة يمكن رفع السرعة (١,٥ – ٣) م / ث .

وفى حالة وجود شوائب بالمياه قابلة للترسيب يجب رفع السرعة أعلى من المذكورة بأعلاه والجدول التالى (١-٥) يوضح السرعات التقريبية المتفق عليها للأغراض المختلفة.

جدول (١-٥)

الغرض	أعمال مياه الشرب	الرى والصرف	المياه الصناعية
السرعة المتوسطة م / ث	٠,٥ – ١,٥	١,٥ – ٣	١,٥ - ٢

وفيما يتعلق بالخطط المستقبلية لزيادة معدل التصرف يجب إختيار المواسير بدقة باعتبار توقيت الزيادة وعمر المواسير الافتراضى وتكاليف إحلال الخطوط ومع دراسة تأثيرات الطرق المائى لتوفير ظروف التشغيل الآمن.

١-٧-٢ إختيار معاملات التشغيل للمضخه

هناك مجموعة من الصعوبات تقف حائلا دون الوصول إلى قيم محددة فى هذا المجال وبالتالى مدى إمكانية السماح بالتشغيل الأوتوماتيكى أو إختيار التحكم بالسرعة أو بإستخدام صمامات التحكم.

أ- حالة السماح الكبير نسبيا فى الرفع والتصرف

يجب فى هذه الظروف الاهتمام بالحصول على أمان التشغيل فى إختيار الرفع والتصرف والخطط المستقبلية. بافتراض أن نقطة التشغيل هى (A) وأن معدل التصرف Q_1 والرفع (H_1) (شكل (١-١٧) ، فإنه يمكن إختيار المضخه بالمواصفات (Q_1 , H_1) ولكن فى حالة أن يصبح مقاومة الشبكة أقل (LN_2) فإن التصرف والرفع يصبحان Q_2 , H_2 والمناظر لنقطة التشغيل (C) . وكما هو واضح فإن $Q_2 > Q_1$ وهذا يعنى احتمال حدوث أثار جانبية غير مرغوب فيها مثل التكهف – وحتى يمكن تلاشى هذه الآثار يتم خنق الانسياب جزئيا بواسطة صمام التحكم على خط الطرد مما يؤدى إلى زيادة الفقد بمقدار (AB) ويجب ألا يسمح بهذا التشغيل الغير اقتصادي. وقد يكون البديل هو تركيب مضخة أو أثنين بسعات مناسبة حتى يمكن الحصول على التشغيل الاقتصادى.

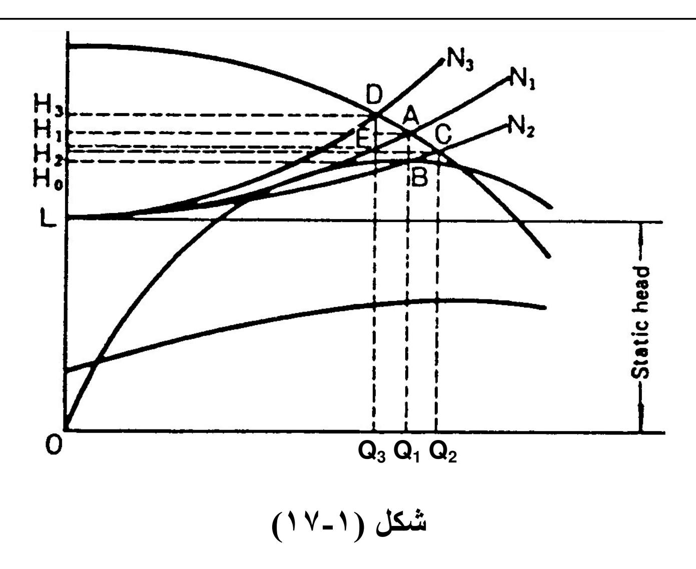
ب- الأنابيب السيفونية

كما هو موضح بالشكل (١-١٨) يكون الرفع الأستاتيكى H_o هو المطلوب للمضخه عندما يكون طرف ماسورة الطرد غير مغمور فى خزان الطرد شكل (١-١٨- a) ولكن عندما يكون طرف ماسورة الطرد مغمورا فى الماء شكل (١-١٨- b) فإن الرفع الأستاتيكى (H_1) هو المطلوب للمضخه. وذلك يوضح أن رفع السحب الأستاتيكى يقل بمقدار ($H_2 = H_0 - H_1$) .

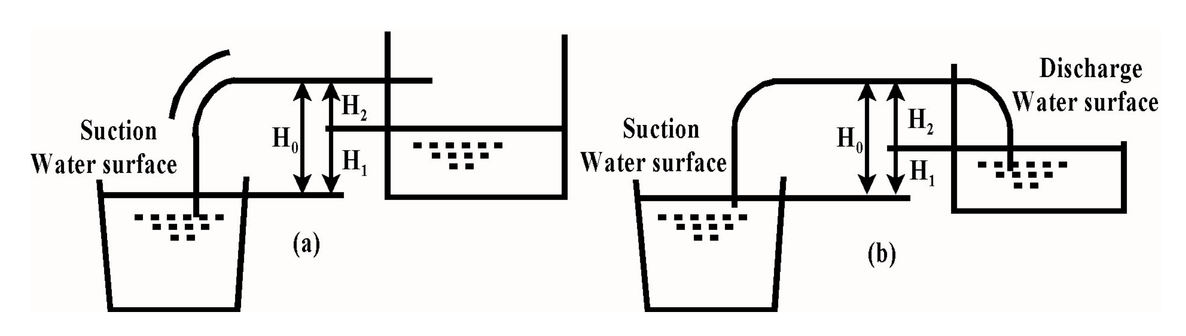
والأنابيب السيفونية فعالة جدا فى حالة المضخات المنخفضة الرفع وعلى الرغم من ذلك فإن وجودها قد يسبب متاعب وخصوصا فى بدء التشغيل حيث من الضرورى توفير الرفع اللازم لوصول الماء إلى أعلى نقطة فى المنظومة.

ج- عندما يكون الرفع الكلى متغيرا

عمليا يتغير الرفع بسبب تغير منسوب السحب والطرد مع الزمن – ولذلك يوصى للتشغيل الاقتصادى التخطيط على أساس فرق المنسوب الشائع (المتوافر فى أغلب الأحيان) – ومع ذلك فإنه عند تشغيل المضخه عند أقصى فرق منسوب أو قريبا منه قد يتوقف الضخ حيث يقل التصرف وعلى العكس عند تشغيل المضخه على أقل ضغط قد يحدث التكهف. لهذا يجب أن تخضع هذه الحالة للدراسة الدقيقة.



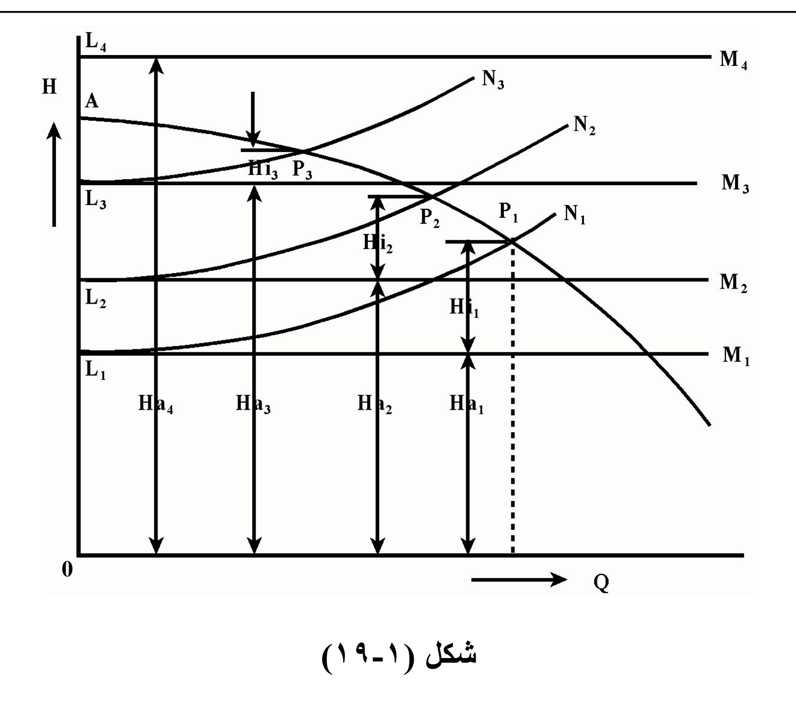
شكل (١-١٧)



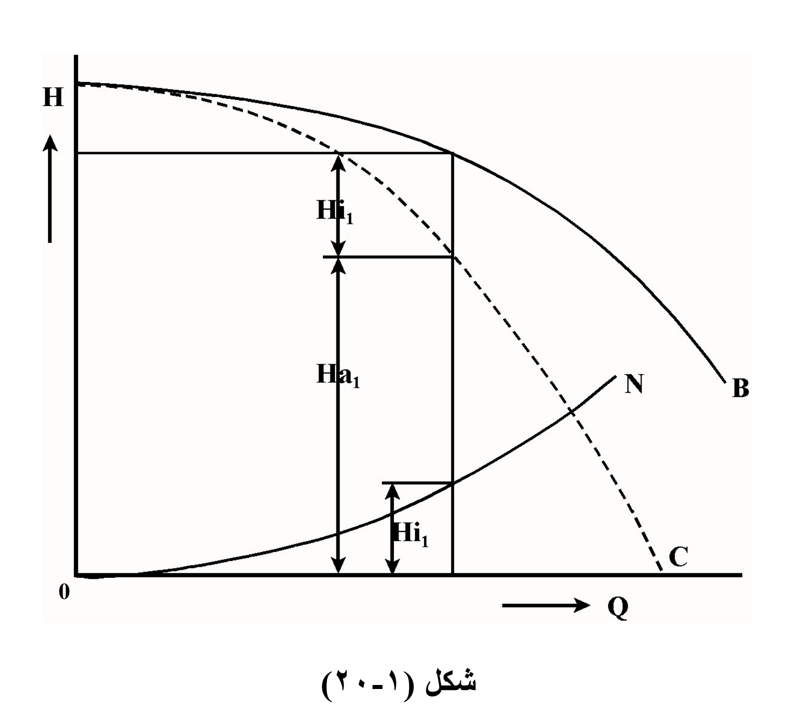
شكل (١-١٨)

١-٧-٢-١ عند ذبذبة الرفع الأستاتيكى

فى حالة المضخات ذات الرفع الصغير فإن تذبذب الرفع الأستاتيكى يؤثر تأثيرا كبيرا على نقطة التشغيل. وللحصول على نقطة التشغيل لظروف الرفع الأستاتيكى المتغيرة المنحنيات $L_1 N_1$, $L_2 N_2$, $L_3 N_3$ شكل (١-١٩) فإنـه يوصـى برسم منحنى المقاومة (ON) شكل (١-٢٠) ومن ثم الحصول على المنحنى (AC) نطـرح $H1_1$ عند كل تصرف من الرفع المناظر الممثل بالمنحنـى (AB) وذلك للحصـول على المنحنى الأستاتيكى للمنظومة وبهذا يتم تحديد التصرف من المنحنى (AC) تبعا لتغير قيمة الضغط.



شكل (١-١٩)

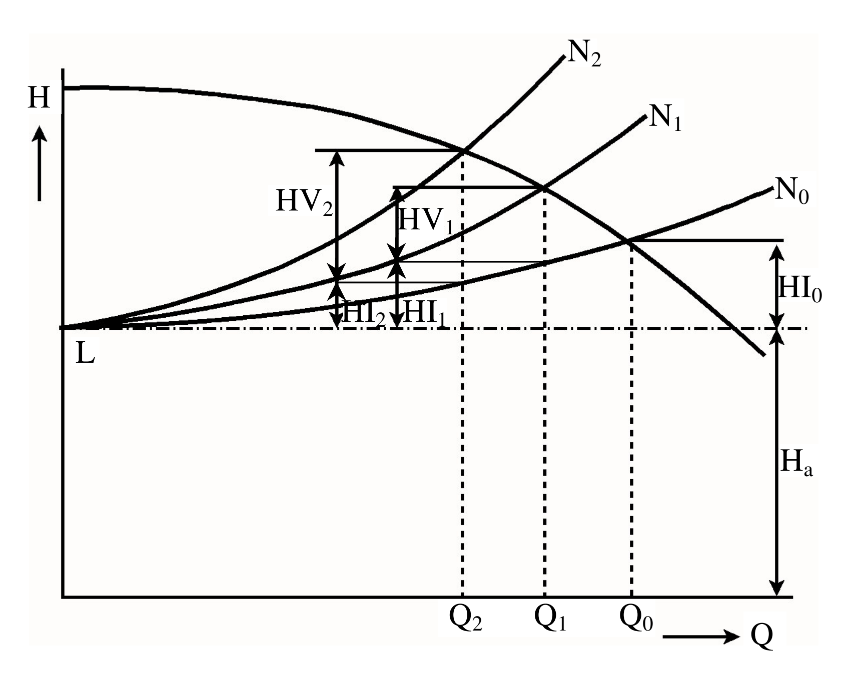


شكل (١-٢٠)

١-٧-٢-٢ عند تغير قيمة رفع الفقد

عند تشغيل مضخة باستخدام صمام Sluice أو عندما يحدث صدأ فى المواسير كنتيجة للإستخدام لفترة طويلة يقل التصرف لازدياد المقاومة.

فى شكل (١-٢١) (LN_0) منحنى المقاومة الابتدائى (بداية غلق الصمام أو الحالة عند تشغيل خط جديد) والمنحنيات (LN_1 , LN_2) هى منحنيات المقاومة بعد زيادتها. فى هذه الحالة فإن معدلات التصرف تقل من (Q_0) الى Q_1 و Q_2) ورفع الفقد هو (HV_2 , HV_1) للحالتين على التعاقب.
وهكذا فإن فقد الرفع بالنسبة للرفع الكلى يظهر فى صورة انخفاض لكفاءة التشغيل ، وفى حالة خطوط المواسير الطويلة فإن تغير فاقد الضغط يؤدى إلى انخفاض التصرف والتسرب الداخلى فى المضخه.



شكل (١-٢١)

١-٧-٢-٣ تشغيل مضختين لهما نفس الخصائص على التوازى أو التوالى

عند توصيل فلانشة طرد أحد المضختين بفلانشة المص للمضخه الثانية فإن التوصيل فى هذه الحالة يسمى توصيل على التوالى - أما فى حالة توصيل نهايات الطرد للمضختين فى خط مواسير واحد فإن التوصيل يكون فى هذه الحالة على التوازي.

فى شكل (١-٢٢) المنحنى (AB) هو منحنى الرفع - التصرف لمضخه واحدة والمنحنيات DE , AC هى منحنيات الرفع - التصرف فى حالة التوصيل على التوازى وعلى التوالى على الترتيب - وهذه المنحنيات تم الحصول عليها بمضاعفة التصرف عند ثبوت الرفع للتوصيل على التوازى ومضاعفة الرفع عند ثبوت التصرف فى حالة التوصيل على التوالى. الخط (OL) يمثل الرفع الأستاتيكى والمنحنيات NL_1 , LN_0 , LN_2 هى منحنيات خطوط الشبكة - عندما تكون الشبكة معطاة بالمنحنى (LN_1) فإن تصرف المضخه منفردة هو Q_{11} أو أثنين موصلتين على التوالى Q_{1s} وموصلتين على التوازى (Q_{1p}) والعلاقة بينهما هى :

$$Q_{11} < Q_{1s} < Q_{ip} < 2Q_{11}$$

وعندما تكون الشبكة معطاة بالمنحنى (LN_2) فإن العلاقة المناظرة هى :

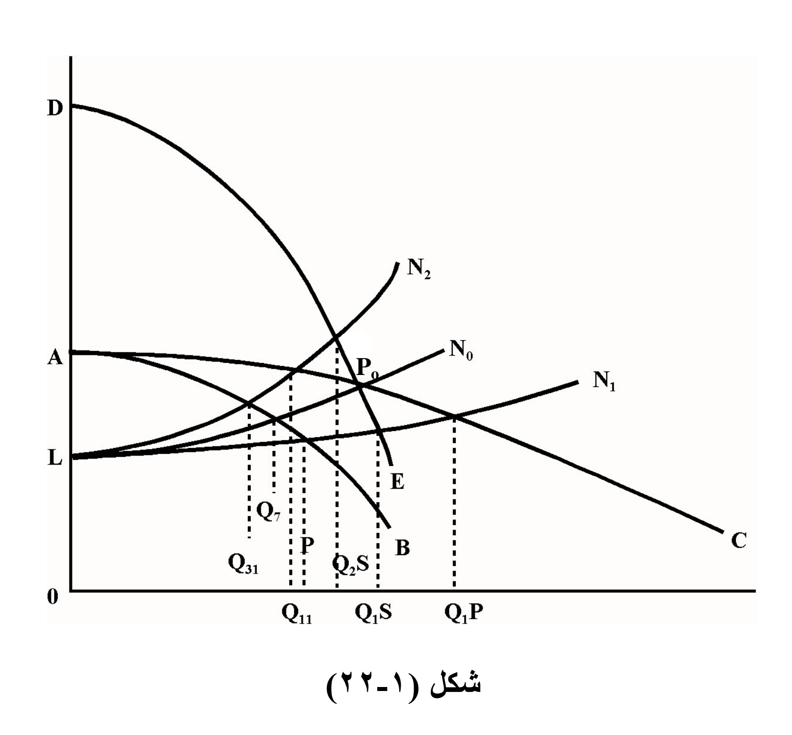
$Q_{21} < Q_{2s} < Q_{2p} < 2Q_{21}$

والنقطة الحرجة هى المنحنى LN_0 هى (P_0) والتى هى نقطة تقاطع المنحنيين AC , DE وعموما فإنه فى حالة التوصيل على التوازى أو التوالى فإن التصرف يكون أقل من ضعف التصرف للمضخه المفردة كما هو بالشكل (١-٢٢) ونفس الخصائص تتواجد فى حالة الرفع.

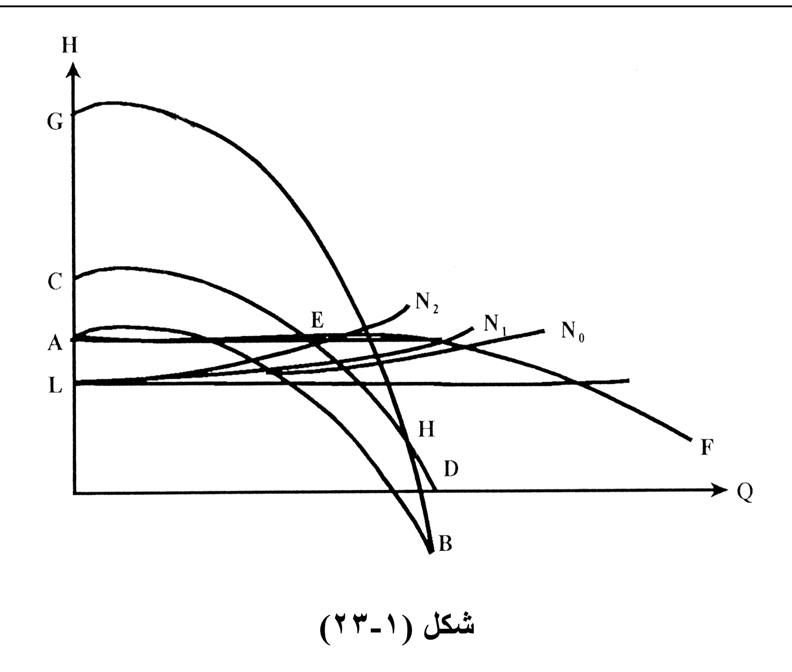
١-٧-٢-٤ تشغيل مضختين مختلفتين فى الخصائص على التوالى أو التوازى

فى شكل (١-٢٣) المنحنيات CD , AB يمثلان خصائص الأداء للطلمبتين. عند التوصيل على التوازى نحصل على المنحنى CEF وعلى التوالى نحصل على المنحنى GHB . ثم الحصول على المنحنى CEF بإضافة التصرف عند ثبوت الرفع والمنحنى GHB تم الحصول عليه بإضافة الرفع عند ثبوت التصرف.

ويلاحظ أنه فى حالة التوصيل على التوازى فإن الأداء يكون غير مستقر بين (LN_2 , LN_1) وعندما تزداد المقاومة فى الشبكة أكثر من ذلك يعود الاستقرار للأداء - وقد يحدث سريان عكسى فى المضخه ذات الرفع المنخفض إذا كان صمام عدم الرجوع غير محكم.



شكل (١-٢٢)



شكل (١-٢٣)

وفى حالة التوصيل على التوالى قد تكون المضخه التالية حملا على السابقة أو العكس فيحدث تكهف. لهذا يوصى بأن تكون المضخات الموصلة على التوالى أو التوازى متقاربتين فى خصائص الأداء.

١-٧-٢-٥ التحكم فى معدل التصرف

فى إطار تشغيل المضخات يتطلب الأمر أحيانا تغيير معدل التصرف للمضخه حتى يتواءم مع متطلبات التشغيل - بالنسبة للمضخات المحورية يتم التحكم فى معدل التصرف بتغيير زوايا وضع ريش المروحة كحالة استثنائية ولكن عموما هناك ثلاث طرق لتغيير معدل التصرف للمضخات :

١- تغيير عدد المضخات العاملة

تغيير عدد المضخات يمكن أن يكون مجديا فى حالة تركيب أكثر من مضخه وهى أبسط الطرق إلا أنه يلاحظ أن تغيير معدل التصرف فجائى وبالتالى هذه الطريقة لا تناسب الحالات التى يكون مطلوب فيها تغيير التصرف تدريجيا.

٢- التحكم فى غلق صمام الطرد

وطريقة التحكم فى صمام التصرف هى أيضا طريقة بسيطة وشائعة الإستخدام وعيب هذه الطريقة أن الفقد فى الرفع فى الصمام يعتبر طاقة غير مستفاد بها وبالتالى فإن كفاءة تشغيل المضخه تقل. وشكل (١-٢٤) يوضح ما سبق حيث أنه عندما كانت المقاومة ممثلة بالمنحنى L_1 N_1 فإن نقطة التشغيل هى P_1 ومعدل التصرف (Q_1) فى حالة فتح الصمام فتحة كاملة. ولكن عندما يتم غلق صمام الطرد جزئيا فإن خط المقاومة ينتقل إلى (L_1 R) ونقطة التشغيل (P_2) ومعدل التصرف Q_2 أقل من Q_1 والفقد فى الصمام هو P_2 D والكفاءة تنخفض من E إلى F حيث تتحقق العلاقة :

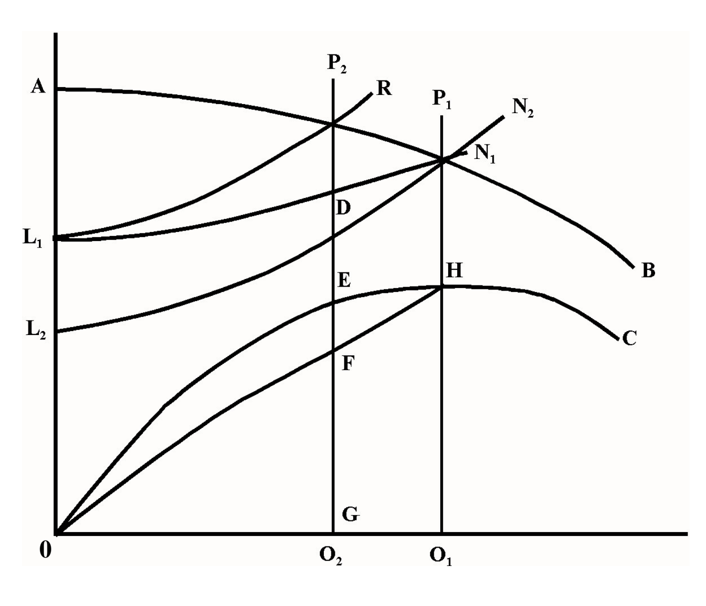
$$FG / EG = DG / P_2G$$

وبالتالى فإن منحنى الكفاءة الفعلى هو OFH فى مراحل غلق الصمام المتعدده. والانخفاض فى الكفاءة الفعلية يكون أكبر فى حالة زيادة النسبة بين الفقد فى الشبكة إلى الرفع الأستاتيكى كما هو موضح بالمنحنى.

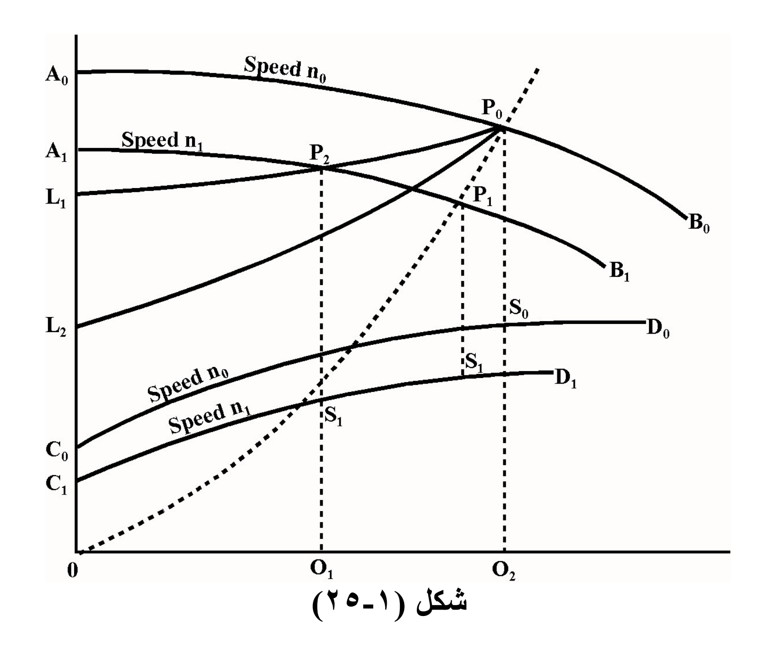
٣- التحكم فى سرعة دوران المضخه

بالرغم من صعوبته النسبية إلا أن ظروف الكفاءة الفعلية أفضل. وشكل (١-٢٥) يوضح منحنى الأداء عند عدد دورات n_1 , n_0 وكذلك القدرة BHP عند نفس عدد الدورات على الترتيب. وكما هو واضح فإن تغير عدد الدورات من n_0 إلى n_1 يؤدى إلى تغير القدرة من S_0 إلى S_1 والتصرف من Q_0 إلى Q_1 والرفع من H_0 إلى H_1 .

والواضح من الشكل أن التحكم فى التصرف بتغيير سرعة دوران المضخه يناسب التركيبات ذات الفقد الصغير حيث أن التغير الصغير فى سرعة الدوران يؤدى إلى تغير ملموس فى التصرف.



شكل (١-٢٤)



شكل (١-٢٥)

١-٧-٣ المفاضلة بين المضخات

١-٧-٣-١ المضخات الطاردة المركزية ذات الغلاف الحلزونى والتوربينية

بالرغم من التطور الهائل فى المضخات التوربينية إلا أنها ما زالت أكثر تعقيدا من المضخات الطاردة المركزية ذات الغلاف الحلزونى وفيما يلى مقارنة بين هذين النوعين من المضخات :

جدول (١-٦)

عنصر المقارنه	المضخات الطاردة المركزية ذات الغلاف الحلزوني	المضخات التوربينية
الكفاءة	جيدة فى مدى واسع من تغير التصرف	المدى الذى يتم فيه الحصول على كفاءة جيدة ضيق
القدرة الفرملية	عموما لا يحدث تحميل زائد Overload حتى مع زيادة التصرف	لها خاصية الزيادة السريعة مع ازدياد التصرف
منحنى الرفع التصرف	من السهل الحصول على معدل الزيادة فى الضغط مع نقصان التصرف	لها خاصية حدوث عدم استقرار مع نقصان التصرف
ظروف التشغيل	هادئة نسبيا	تحدث ضوضاء أعلى نسبيا من الحادث فى حالة الطاردة المركزية
الشكل	صغيرة فى الحجم	كبيرة فى الحجم نسبيا

١-٧-٣-٢ المفاضلة بين المفردة السحب أو المزدوجة السحب

من المعروف أن المضخات المفردة السحب متاحة حتى قطر ٢٦٠ مم والمزدوجة السحب متاحة لقطر أكثر من ١٨٠ مم ولهذا فإن المضخات حتى قطر ١٦٠ مم دائما ما تكون مفردة السحب وتلك ذات القطر ٣٠٠ مم فأكثر تصمم على أساس مزدوجة السحب ويستثنى من ذلك المضخات المحورية والمختلطة.
ومع ذلك فى المدى بين ١٨٠ – ٢٦٠ مم يمكن إختيار إما السحب المفرد أو المزدوج ويسترشد فى ذلك بما يلى :

جدول (١-٧)

السرعة	هى نفسها بالنسبة للحالتين وقد تكون السرعة فى المزدوجة السحب أعلى قليلا
الأداء	لا يوجد فرق كبير بين الاثنين
عمق السحب	تستخدم المزدوجة السحب لعمق أكبر - يراجع المصنع

١-٧-٣-٣ المفاضلة بين المضخات الطاردة المركزية والمختلطة والمحورية

المفاضلة بين أداء المضخات الطاردة المركزية والمختلطة والمحورية ومن وجهة نظر الرفع فقط يبين أن المضخات المحورية تناسب الرفع من ١ - ٥ م والمختلطة من ٣ - ٨ م ويمكن أن تزداد إلى ١٥ م فى حالة المضخات الرأسية والمضخات الطاردة المركزية (غالبا مزدوجة السحب) أكبر من ٥ م.
وللإختيار والمفاضلة بين الأنواع الثلاثة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار معايير إضافية وجدول (١-٨) يعطى الإختيارات النمطية على أساس الرفع الكلى ورفع السحب. وجدول (١-٩) يعطى المفاضلة على أساس ظروف التشغيل.

وقد يقع الإختيار على مضخه غير مناسبة من وجهة نظر معينة تبعا للجداول السابقة وذلك تحقيقا لمتطلبات أخرى ويوصى بمراجعة المصنع عند وجود بعض الصعوبات.

جدول (١-٨)

الرفع الكلى	عمق السحب	مضخه طاردة مركزية	مضخه انسياب محورية	مضخه محورية	ملاحظات
أقل من ٣ م	-	X	⊕	⇔	X - يستحسن عدم إستعمالها
٣ - ٤ م	أقل من ٣ م	Δ	⊕	⇔	Δ- لا تستعمل عادة ويمكن إستعمالها
٣ - ٤ م	أكبر من ٤ م	Δ	⇔	Δ	⊕ - تستعمل عادة
٤ - ٥ م	أقل من ٢ م	Δ	⇔	⊕	⇔ - شائعة الإستعمال
٤ - ٥ م	أكبر من ٣ م	X	⇔	X	
٥ - ٨ م	أقل من ٤ م	⇔	⇔	X	
٥ - ٨ م	أكبر من ٥ م	⇔	X	X	
أكبر من ٨ م	-	⇔	X	X	

جدول (١-٩) مقارنة المضخات على أساس تراوح الرفع

التغير المسموح به إلى الضاغط الكلى	طرد مركزي	انسياب مختلط	محوري	ملاحظات
٥ - ٣٠ %	⊕	⊕	⊕	⊕ - قياسية
١٠ - ٣٠ %	Δ	⊕	⊕	Δ - يمكن إستعمالها
١٥ - ٣٠ %		⊕	⊕	
٢٠ - ٣٠ %		Δ	⊕	

جدول (١-١٠) مقارنة بين المضخات تبعا للعوامل المختلفة

عنصر المقارنة	المضخه الطاردة المركزية	مضخات الانسياب المختلط	المضخات المحورية	المضخات الرأسية	ملاحظات
التشغيل والتحكم	A	A	B	A	
الصيانة	A	B	B	C	
الثمن	C	B	A	-	
السرعة	B or C	B	A	-	
الكفاءة	A	B	C	-	
المساحة المطلوبة للتركيب	B or C	B	B	A	

١-٧-٣-٤ مقارنة بين المضخات الرأسية والأفقية

يمكن تصنيف المضخات إلى صنفين :

١- أفقى.
٢- رأسى.

والمفاضلة بين المميزات والعيوب لهذين النوعين موضحة بالجدول (١-١١) والمضخات الأفقية واسعة الانتشار فى الإستخدام بينما الأسباب الرئيسية لإستعمال المضخات الرأسية هى :

١- عندما يكون الضخ من مكان عميق وذلك لتركيب المعدات الكهربية على سطح الأرض أو لحماية المعدات الكهربية من الفيضانات.
٢- عندما يكون الحيز المتاح صغيرا.
٣- للاستغناء عن عمليات التحضير.

جدول (١-١١)

	المضخات الأفقية	المضخات الرأسية
المميزات	وجود غالبية الأجزاء فوق مستوى السحب. سهولة الملاحظة والصيانة. سهولة الربط بين المحرك والمضخه. رخص ثمنها.	صغر المساحة المطلوبة للتركيب. سهولة التغلب على التكهف. مشاكل التحضير لا تكاد تظهر. يمكن إستخدامها للضخ من

	المضخات الأفقية	المضخات الرأسية
		أعماق كبيرة.
العيوب	الحيز المطلوب للتركيب كبير. إمكانية حدوث ظاهرة التكهف موجودة. تحتاج إلى تحضير قبل التشغيل. تحتاج إلى الحماية من الغرق.	معرضة للتآكل لوجود أغلب أجزائها مغمورة. صعوبة الصيانة. صعوبة التركيب. تحتاج إلى محرك رأسى أو صندوق تروس. غالية الثمن.

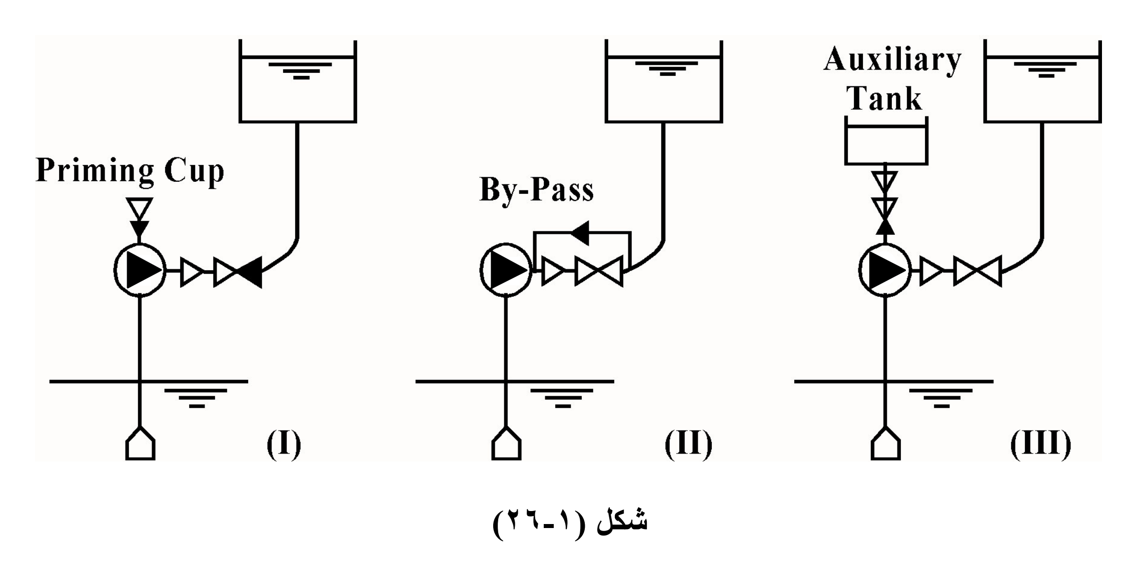
١-٨ المعدات المساعدة Auxiliary Equipment

١-٨-١ وسيلة التحضير Priming Device

لبدء عملية الضخ يجب تحضير المضخه بإستخدام أحد طرق التحضير الآتية :

١- طريقة إستخدام البلف السفلى

ويركب بعد بوق السحب مباشرة ويسمح بمرور الماء إلى المضخة ولا يسمح بمرور الماء فى الاتجاه العكسى شكل (١-٢٦).



شكل (١-٢٦)

أ- طريقة تحضير المضخه بالماء خلال قمع التحضير

وهى أبسط طريقة وقد أستمر إستخدامها لمدة طويلة وهى غير مناسبة عندما يكون هناك مضخات عديدة يبدأ تشغيلها فى وقت واحد.

ب- طريقة تحضير المضخه بإستخدام مياه من ماسورة الطرد عن طريق ماسورة ممر جانبى (by-pass)

وهى طريقة بسيطة أيضا وتستخدم فى مدى واسع ولكن عندما تكون ماسورة الطرد خالية من المياه يلزم التحضير عن طريق قمع التحضير أو بإستخدام مضخه التفريغ وبالإضافة إلى ذلك فإنه عند إستخدام هذه الطريقة يؤثر الضغط الهيدروستاتيكى فى جانب الطرد على المضخه والصمام السفلى ....الخ ولذلك يجب الاهتمام بمتابعة المنظومة أثناء التحضير.

ج- طريقة تحضير المضخه بإستخدام خزان ماء إضافى

عند إستخدام هذه الطريقة تصبح المنظومة معقدة بعض الشيء ويستخدم خزان ماء إضافى واحد لتحضير مضخه واحدة أو مضخات عديدة ولذلك فإن هذه الطريقة شائعة الإستخدام ورخيصة ويغذى الخزان الإضافى بالماء عن طريق الضخ المباشر من المضخه الرئيسية بإستخدام مضخه تغذية صغيرة الحجم وبحيث يكون الرفع الذى يثبت عنده خزان الماء الإضافى أعلى من أعلى جزء فى المضخه بمسافة تساوى الفقد فى الماسورة الواصلة بين الخزان الإضافى والمضخه.
وطريقة الصمام السفلى المذكورة (أعلاه) تستخدم غالبا للمضخات ذات القطر الأسمى فى حدود ٢٠٠ مم أو أقل ، وفى الحالات الاستثنائية عندما يكون مطلوبا أن يبدأ تشغيل المضخه بسرعة ، يوصل بالمنظومة صمام سفلى وتبقى المضخه محضرة دائما وذلك فى حالة المضخات التى لا يزيد قطرها الأسمى عن ٥٠٠ مم.

٢- طريقة إستخدام مضخه تفريغ

هذه الطريقة هى الأفضل والأوسع إستخداما للمضخات ذات الحجم المتوسط والكبير وهنا لا يوصل صمام سفلى وتستخدم نهاية مفلجة (flared end) ذات مقاومة صغيرة فى بداية ماسورة السحب وتستخدم مضخه التفريغ للتحضير فقط وتكون إزاحتها كبيرة ولا تسبب خللا بالمنظومة أثناء سحب المياه ولذلك فهى أكثر مناسبة للتحضير وتحدد مواصفات مضخه التفريغ من الكتالوجات الخاصة بها حيث تختار مضخه التفريغ ذات المواصفات التى تناسب تحضير المضخه الرئيسية المستعملة فى المنظومة شكل (١-٢٧) .

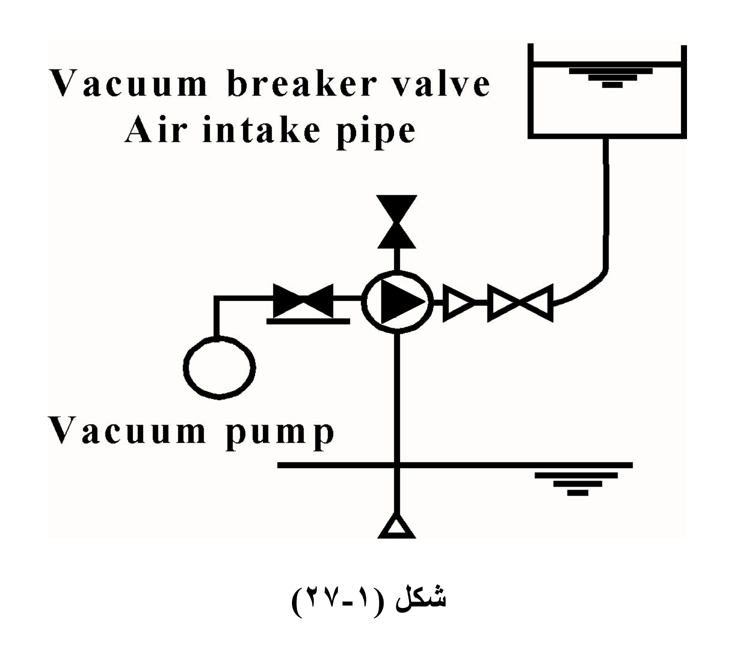
ولإتمام عملية التحضير خلال وقت معين يجب تحديد حالة الجزء المانع لتسرب الهواء إلى ماسورة السحب وكذلك معرفة سعة مضخه التفريغ ويتغير زمن التحضير تبعا لحالة أجزاء ماسورة السحب ويكون التحضير بكفاءة عالية عندما يكون هناك فرصة لتقليل عمق السحب وكذلك عندما يكون الجزء الأفقى من ماسورة السحب أقرب ما يمكن لمستوى المياه فى السحب.

عموما وعلى سبيل المثال عندما يكون الطول الكلى لماسورة السحب الموصلة بمضخه واحدة ٥ متر ويكون الزمن المطلوب لتحضير المضخه حوالى ٥ دقائق يكون الحجم فى الحدود المعطاة فى جدول (١-١٢).

جدول (١-١٢) إختيار مضخات التفريغ

القطر الداخلى للمضخه الرئيسية (مم)	٣٠٠ أو أقل	٣٠٠ إلى ٥٠٠	٥٠٠ إلى ٨٠٠	٨٠٠ إلى ١٠٠٠	١٠٠٠ إلى ١٣٠٠	١٣٠٠ إلى ١٥٠٠
القطر الداخلى لمضخه التفريغ (مم)	٢٥	٣٢	٤٠	٤٠	٥٠	٦٥
قدرة مضخه التفريغ (كيلووات)	٠,٧٥	١,٥٠	٢,٢٠	٣,٧٠	٥,٥٠	٧,٥٠

وقد تستخدم المضخة النافورية لتقليل عمق السحب حتى يتم التحضير بكفاءة فى الزمن المطلوب ولكنها لا تناسب حالات التشغيل المختلفة.



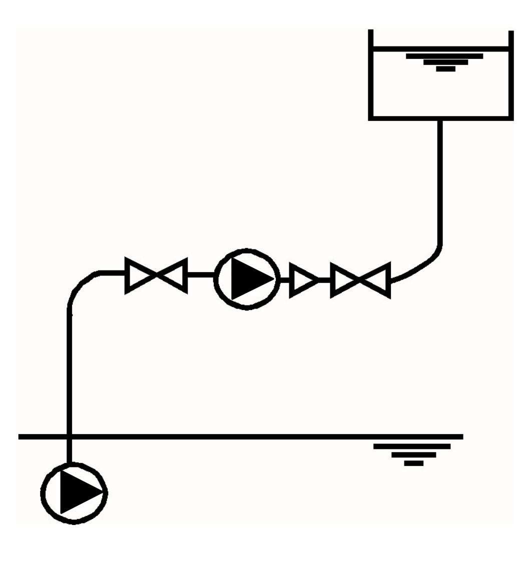
شكل (١-٢٧)

٣- طريقة إستخدام مضخه التحضير الذاتى

وتستخدم هذه الطريقة حاليا للمضخات الصغيرة فقط وعندما تكون مواسير السحب لا تحتوى على مياه فإن هذا النوع من المضخات يحضر نفسه ذاتيا لأن المضخه نفسها تحوى كمية من المياه تكفى لتحضيرها أو أكثر وبالتالى فإنها تحضر نفسها وتبدأ فى الضخ باستمرار وفى بعض الحالات القليلة توصل مضخه تفريغ على نفس عمود الإدارة الذى يخدم المضخه الرئيسية.

٤ـ طريقة إستخدام مضخه غمر

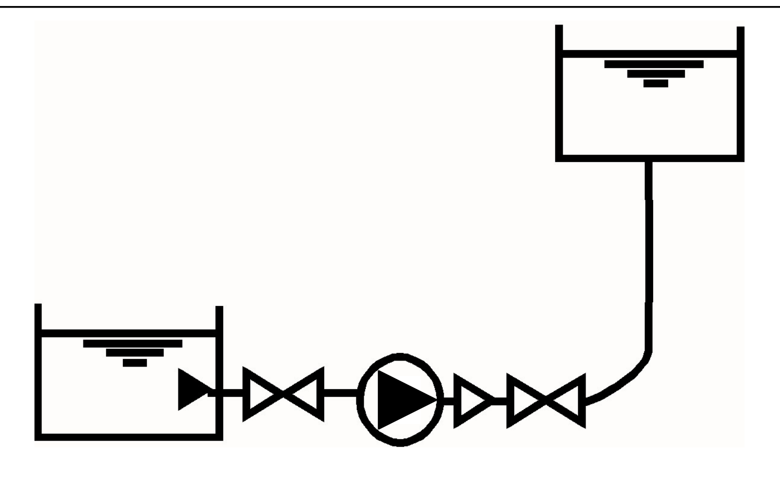
عندما يكون معدل التصرف المطلوب كبيرا عند علو ضغط عالى ومخطط لتنفيذ ذلك بإستخدام مضخه واحدة كبيرة فيجب أن تكون سرعة السريان فى أنابيب السحب صغيرة لتجنب حدوث التكهف وبالتالى تصبح تكاليف تجهيز خط المواسير عالية. وفى مثل هذه الحالات يكون من الأفضل إستخدام طلمبتين ويكون الهدف من المضخه الأولى هو غمر المضخه الثانية بالمياه ورفع ضغط السحب بالنسبة لها. وفى هذه الحالة تستخدم مضخه ذات سرعة عالية وحجم صغير وذات رفع كبير كمضخه ثانية وعادة ما تكون مضخه حلزونية أفقية أما المضخه الأولى فتكون ذات رفع منخفض وغالبا ما تكون مضخه رأسية ذات سريان مختلط وتكون الطلمبتان موصلتان على التوالى شكل (١-٢٨).



شكل (١-٢٨)

٥ـ طريقة الإمداد بمياه لغمر مستوى المضخه

فى هذه الطريقة تركب المضخه عند مستوى أقل من مستوى مياه السحب. يركب مجس سكينة على جانب السحب (يكون مفتوح تماما أثناء التشغيل) وذلك لتسهيل صد المياه عند إجراء إصلاح أو صيانة للمضخه ويختار مستوى تثبيت المضخه بحيث يكون مستوى الماء فى جانب السحب مرتفع عن أعلى جزء فى المضخه بمسافة تساوى الفقد فى جانب السحب على الأقل عند بدء التشغيل. وعند إستخدام هذه الطريقة لا لاتحتاج وسيلة للتحضير وتعمل المضخه بسهولة ولكن يجب توصيل فتحة لخروج الهواء (air vent) فى الأماكن التى يمكن أن يحبس بها الهواء فى المضخه شكل (١-٢٩).



شكل (١-٢٩)

٦- طريقة غمر المضخه فى الماء

وهنا أيضا ليس بحاجة إلى وسائل تحضير لأن المضخه تكون مغمورة تحت سطح الماء ولكن يجب أن تكون فترة بقائها تحت الماء محدودة وترفع لإختبارها وإجراء الصيانة لها.

١-٨-٢ وسيلة منع التسرب

عند المناطق التى يمر فيها العامود الرئيسى للإدارة خلال الغلاف يحدث تسرب للمياه إلى خارج المضخه عندما يكون الضغط داخل الغلاف أعلى من الضغط خارجه بينما يدخل الهواء إلى المضخه عندما يكون الضغط داخل الغلاف أقل من الضغط خارجه ووسيلة منع التسرب تحمى المضخه من تسرب الماء إلى الخارج وكذلك من دخول الهواء إليها. وعندما يكون الضغط داخل المضخه أعلى من الضغط الخارجى تكون وسيلة منع التسرب متضمنة فى تصميم المضخه ولا تحتاج لتوصيل أجزاء خاصة إضافية ولكن عندما يكون الضغط داخل المضخه أقل من الضغط الخارجى يجب أن نهتم بالمشكلة كما هو موضح لاحقا. وعموما يضغط الماء من المضخه نفسها إلى تلك الأماكن لمنع تسرب الهواء إلى الداخل ولكن هذه الطريقة لا تكون مناسبة فى الحالات الآتية :

١- عندما يكون السائل المدفوع بالمضخه غير صاف (غير رائق) وتحتوى على تراب أو طين.
٢- عندما يكون الضغط الذى تعطيه المضخه غير كافى وذلك فى حالة المضخات ذات الضغط المنخفض حيث يكون ضغط التصرف منخفض جدا وعندما يكون هناك وصلات أنابيب على شكل سيفون (siphon piping) حيث يكون من الممكن وجود ضغط سالب فى جانب الطرد ، وفى هذه الحالات يكون الضغط الناتج من المضخه غير كاف لمنع تسرب الهواء إلى داخل المضخه.

فى هذه الحالات يكون من المطلوب توفير ماء مضغوط من مصدر خارجى لمنع تسرب الهواء إلى المضخه ويجب أن يكون هذا الماء صافيا لا يحتوى على تراب أو طين بقدر الإمكان ويضخ هذا الماء أولا إلى خزان رأسى وبعد ذلك يوجه إلى المضخه مع إستخدام جهاز مناسب لتصفية الماء وفصل التراب والطين. كذلك يجب أن يكون ضغط الماء المانع لتسرب الهواء إلى المضخه أعلى من الضغط الجوى المحيط ولذلك فإن ارتفاع الخزان الرأسى أو ضغط مضخه الماء المانع للتسرب يكون أكبر من مجموع مقاومة صندوق الحشو ومقاومة المفاقيد فى المواسير الموصلة لصندوق الحشو.

والمضخات المستخدمة لهذا الغرض تسمى عموما بمضخات تغذية المياه المساعدة أو مضخات منع تسرب الهواء أو مضخات المياه مانعة التسرب.

وعندما تستعمل مضخه تفريغ لتحضير المضخه الرئيسية عند بدء تشغيلها قد يتجمع الهواء فى صندوق الحشو وهذا يؤدى إلى تفريغ المضخه أو إطالة زمن التحضير للمضخه وهذا غير مهم فى المضخات الصغيرة الحجم أما بالنسبة للمضخات الكبيرة الحجم فإن الهواء يدخل بكمية كبيرة ولذلك يصبح من المهم توصيل الماء المانع لتسرب الهواء إلى المضخه أيضا أثناء عملية التحضير.

ومعدل تصرف المياه اللازمة لجهاز منع التسرب تختلف مع تغير تركيب صندوق الحشو ولكن يمكن حسابها تقريبا من المعادلة التالية :

$$q = 0.1\, d\, .\, n \qquad (1\text{-}19)$$

حيث

q = معدل تصرف المياه (لتر / دقيقة)

d = قطر عمود الإدارة (مم)

n = عدد حلقات منع التسرب

١-٨-٣ مضخه النزح أو التصريف Draining Pump

تتجمع المياه المتسربة من المضخه الرئيسية وخلافه فى بئر تجميع فى ركن العنبر وتنزح بمضخه يدوية التشغيل إذا كان الماء المتجمع حجمه صغيرا ، بينما تنزح المياه بمضخه حلزونية تتراوح قدرتها بين ١-٢ حصان إذا كان الماء المتجمع كثيرا ويكون من المناسب إستخدام مضخه رأسية ومضخه ذاتية التحضير لهذا الغرض وتكون موصلة بحيث تعمل أوتوماتيكيا وفقا لمستوى المياه المتجمعة فى البئر. وتستخدم مضخه النزح أحيانا لتنظيف خزان مياه السحب الخاص بالمضخه الرئيسية وفى كل حالة يجب إختيار المضخات ذات التركيب المناسب لخصائص المياه كما يجب أن تكون هذه المضخات ذات مقاومة كبيرة للبرى ، كما يجب أيضا أن تكون غير معرضة للانسداد بالتراب والطين والشوائب التى قد تحتويها هذه المياه.

١-٨-٤ مضخات أخرى

بالإضافة إلى مضخات منع التسرب ومضخات النزح التى سبق وصفها يكون من الضرورى إستخدام مضخه لمياه التزييت ، عندما نستخدم كراسى محور من الكاوتش ومضخه لمياه التبريد عندما نستخدم محرك لإدارة المضخه. وكراسى المحاور الكاوتش التى تستخدم فى حالة المضخات الرأسية كبيرة الحجم ويكون معدل تصرف مياه التزييت المطلوب من (٠,٣ - ٠,٥) فى حاصل ضرب قطر عمود الإدارة فى عدد الكراسى ، كما يكون ضغط مياه التزييت أعلى من الضغط المحيط بالكراسى بحوالى ١ كجم / سم^{2} . أما فى حالة المضخات الأفقية يجب أن يكون ضغط مياه التزييت أعلى من الضغط المحيط بالكرسى بحوالى من ٣ - ٦ كجم / سم^{2} . وبالنسبة لمياه التبريد للمحرك يكون معدل التصرف حوالى ٣٠ لتر / ساعة وقدرة المضخه حوالى ١ حصان .

١-٨-٥ الصمامات (البلوف)

هناك أنواع كثيرة من البلوف تستخدم مع المضخات وسوف نتناول بالتوضيح هنا أكثر أنواع البلوف شيوعا فى الإستخدام فى منظومات المضخات.

١- الصمام السفلى Foot Valve

يستخدم البلف السفلى للاحتفاظ بالمياه فى ماسورة السحب و المضخه خلال عملية التحضير. ويستخدم عموما لهذا الغرض مع المضخات ذات القطر الأقل من ٢٥٠ مم حيث يركب فى بداية ماسورة السحب.

ويتوافر للبلوف السفلية نوعان هما النوع المفصلى والنوع الرافع (Lift type) والنوع المفصلى يستخدم فى مدى واسع وأهم الحالات التى يستخدم فيها الصمام السفلى هى :
أ- لحجز المياه.
ب- للاحتفاظ بمساحة كبيرة فعالة متصلة بالمصفاة.
ج- للاحتفاظ بتركيب بعيد عن الانسداد بالتراب والشوائب وسهل التنظيف.

٢- صمام سكينة

البلوف السكينة تستخدم فى مدى واسع وأهم أسباب إستعمالها فى منظومات المضخات هى :
أ- لوقف السريان.
ب- لتنظيم التصرف.
ج- لتقليل الحمل على المحرك الرئيسى عند بدء تشغيل المضخه (فى حالة المضخات المحورية يزيد الحمل بتقليل معدل التصرف وكذلك فى بعض المضخات المختلطة السريان).
د- للعمل على منع تسريب الهواء إلى داخل المضخه عند التحضير بمضخه التفريغ.
هـ- للتحكم فى الطرق المائى عند توقف المضخه.

وتنقسم بلوف السكينة إلى نوعين هما النوع ذو اللولبة الداخلية والنوع ذو اللولبة الخارجية ، فى حالة بلف السكينة ذو اللولبة الداخلية فإنه يفتح بدوران ساق الصمام مع عدم تحركها إلى أعلى أو إلى أسفل ، بينما فى حالة بلف السكينة ذو اللولبة الخارجية فإن ساق الصمام تتحرك رأسيا للفتح والإغلاق.

وتنقسم طرق تشغيل الصمام إلى ثلاثة طرق :
أ- تشغيل يدوى وتنقسم إلى :
١- يدوى مباشر
٢- يدوى عن طريق تروس (ترس أسطوانى عدل أو ترس مخروط)
ب- تشغيل ميكانيكى بإستخدام محرك
ج- تشغيل هيدروليكى عن طريق الضغط بإستخدام ضغط الماء أو الزيت أو الهواء.

فى حالة التشغيل اليدوى المباشر فى حالة الصمامات ذات الضغوط المنخفضة أو ذات الحجم الصغير ، ولكن عندما يكون الصمام كبيرا أو الضغط مرتفعا يكون من الصعب التشغيل مباشرة باليد ، ولذلك يستخدم صندوق تروس. وعند إستخدام صندوق تروس تصبح القوة اللازمة لفتح وإغلاق الصمام صغيرة ولكن الوقت اللازم لذلك يصير طويلا. وعندما يكون الصمام متكرر التشغيل ، تكون طريقة التشغيل الميكانيكية أو الهيدروليكية مناسبة بصرف النظر عن حجم الصمام أو ضغطه. والصمام ذو التشغيل الميكانيكى السكينة يعتبر الأفضل والأوسع إستخداما والمحرك الخاص به يجب أن يكون له عزم كبير عند بدء التشغيل كما يجب أن يزود بفرملة مع تزويده بمفاتيح مدى للفتح والإغلاق وللحماية من الحمل الزائد بالإضافة إلى مفتاح مزدوج لإمكان التشغيل بالطريقة اليدوية أو الطريقة الميكانيكية عن طريق المحرك ، وكذلك يزود بطاره للتشغيل اليدوى. وصمام السكينة الذى يعمل بالضغط له اسطوانة لها مكبس ويعمل بضغط الماء أو الزيت أو عن طريق ضغط الهواء ، ويعمل بتغير الضغط على المكبس مع وجود إضافات لاستكمال منظومة الضغط الهيدروليكى للماء أو الزيت أو الهواء ، وفى حالة التشغيل عند الفتح الغير كامل للصمام يجب توافر جهاز فرامل من أجل منع جسم الصمام عن الحركة أثناء تشغيل المضخه فى هذه الحالة.

٣- الصمام المروحى

يستخدم الصمام المروحى من أجل الخنق المفاجئ وقد يستخدم أحيانا لقطع أو إيقاف التصرف وأهم ما يميزه بساطة تركيبة وحجمه الصغير المندمج وكذلك السرعة العالية لتشغيله. ولكن معاوقة الصمام للسريان فى حالة الفتح الكامل تكون أكبر من الصمام السكينة. وهناك صعوبة فى تحديد تصرف معين بدقة وكذلك الحصول على منع كامل للتصرف (سد كامل للمياه) بإستخدام هذا الصمام المروحي.

وطرق تشغيل الصمام المروحى مثل الصمام السكينة هى التشغيل اليدوى والتشغيل الميكانيكى بإستخدام محرك أو التشغيل عن طريق الضغط. وعموما تستخدم البلوف المروحية فى حالة المضخات كبيرة الحجم ذات الرفع المنخفض والتى تستخدم فيها أنابيب السيفون Siphon piping .

٤- الصمام الأحادى الاتجاه

ويستخدم لمنع السريان فى التصرفات العالية وعندما يكون المنع الكامل للتصرف غير مطلوب ، والتشغيل المثالى لهذا الصمام هو الإغلاق الكامل فى نفس الوقت الذى يتوقف فيه السريان الطبيعى وعدم السماح للسريان العكسى بالحدوث.

وكما هو متوقع عمليا يحدث تأخر طفيف فى غلق الصمام وبالتالى يحدث السريان العكسى ، ولتقليل هذا السريان العكسى يتم تشغيل الصمام عند فتحة أصغر حيث تزداد المقاومة وبالتالى يحدث التوقف السريع عندما يكون التشغيل عند حوالى ٦٠ % من الفتحة الكاملة للصمام.

وعموما فإن النوع المفصلى من هذه الصمامات يستخدم فى مدى واسع كما يستخدم أيضا النوع الزاوى لمجموعات الأنابيب الخاصة. بينما الصمام أحادى الاتجاه من النوع الزاوى لا يغلق فى نفس وقت حدوث السريان العكسى أحيانا إذا كان التشغيل عند معدل تصرف يسبب فتحا كاملا له. والحجم الصغير من هذه الصمامات يكون ذا قرص واحد ولكن فى الصمامات كبيرة الحجم يكون الصمام ذا قرصين أو ثلاثة لمنع الصدمات التى قد تحدث عند الغلق.

٥ الصمام القلاب Flap Valve

يتم تركيب الصمام القلاب عند نهاية التصرف للمضخات الكبيرة الحجم ذات الرفع المنخفض وهذا بواسطة وزنه dead weight فقط وضغط الماء لا يسبب أى قوى إضافية وهذا الصمام لا يمكن أن يستعمل كمانع للماء.

٦- صمامات أخرى

بالإضافة إلى الصمامات السابقة توجد الصمامات الدورانية والصمامات الابرية needle وهى مناسبة للتحكم فى التصرف ولكنها مكلفة. أما الصمامات المعادلة أحادية الاتجاه فهى تستخدم لمنع حدوث الطرق المائى وهى تتكون من الصمام الرئيسى والصمام الفرعى ووعاء الكبح الزيتى Oil dash pot المتصل بالصمام الفرعي. أما الصمام اللارجعى المروحى فيجمع خصائص كل من الصمام المروحى والصمام اللارجعى. كذلك يوجد الصمام ذو الملف الكهربى اللولبى وهو صمام يعمل كهربيا بملف لولبى ويستخدم هذا النوع ذو التشغيل المباشر والذى يفتح ويغلق مباشرة بالملف اللولبى الكهربي.

١-٨-٦ التشغيل الأوتوماتيكى

١-٨-٦-١ طرق التشغيل الأوتوماتيكى

يمكن تقسيم طرق التشغيل الأتوماتيكى تقريبيا إلى مجموعتين :

أ- التحكم بعامل واحد One man control

يتم تشغيل الماكينات عن طريق مفاتيح تحكم تكون مثبتة كلها على لوحة مفاتيح فى غرفة التحكم وهى تسمى أيضا بالتحكم المتتابع ويتم التحكم فى التشغيل عن طريق المفاتيح بحيث تعمل المضخه تبعا لبرنامج سبق إعداده عن طريق الكشافات المختلفة الموصلة بأجزاء المنظومة وعموما فإن تسلسل خطوات التحكم المتتابع تكون كما يلى :

١- ملء غلاف المضخه بالماء (التحضير)

٢- تحديد أو كشف مستوى الماء

يستخدم كشاف مستوى الماء من النوع الطافى أو النوع ذو القطب الكهربى (electrode type) .

٣- بدء تشغيل المحرك

عندما يمتلئ غلاف المضخه بالماء وتصبح جاهزة للتشغيل يوضع مفتاح قطع الدائرة الكهربية إلى وضع التشغيل ويبدأ تشغيل المحرك.

٤- تحديد أو كشف ضغط التصرف

يحدد ضغط التصرف عن طريق مفتاح الضغط (pressure switch) الموصل على جانب الطرد للمضخه.

٥- الفتح الكامل لصمام الطرد

عندما تصل سرعة دوران المحرك إلى سرعته المحددة ويزيد ضغط التصرف يفتح صمام التصرف الذى يعمل عن طريق ميكانيكى (بإستخدام محرك) فتحا كاملا وفى بعض أنواع منظومات المضخات فإن صمام الطرد الذى يعمل ميكانيكيا لا يكون مطلوبا.

٦- طريقة الإيقاف

يوقف المحرك بعد الإغلاق الكامل لصمام الطرد وذلك لمنع الصدمات الناتجة من السريان العكسي.

ب- التحكم بدون عامل (التحكم الكامل) No man control

أغلب طرق التحكم الأوتوماتيكى الكامل تنقسم إلى الثلاث مجموعات التالية :

١- التحكم عن طريق مستوى الماء الثابت

يتم التحكم عن طريق مستوى الماء فى خزان الطرد ولما كانت هذه الطريقة سهلة فإنها تستخدم إستخداما واسعا والنوعين التاليين من طرق التحكم هما الأكثر شيوعا والأرخص.

أ- طريقة التحكم بتشغيل وإيقاف المضخه

يستخدم كشاف مستوى المياه لإرسال أمر بدء تشغيل أو إيقاف المضخه وفقا لمستوى المياه وتكون هذه الطريقة مؤثرة عندما تكون سعة خزان المياه بين مستويا المياه عند بدء التشغيل وعند الإيقاف كبيرة أو عندما يكون معدل تصرف المياه المدفوعة بالمضخه صغيرا بحيث يكون الزمن بين بدء التشغيل والإيقاف طويل. وهذه الطريقة تستخدم كثيرا فى حالة المنظومات الصغيرة للإمداد بالمياه مثل مضخات النزح أو التصرف ومعدات تجهيزات هذه الطريقة غالبا ما تكون بسيطة.

ب- طريقة التحكم بضبط فتحة محبس السكينة المركب على جانب الطرد

وهذه الطريقة للتحكم تتم بضبط فتحة محبس السكينة المركب على جانب الطرد كدالة فى مستوى المياه عندما تكون سعة خزان المياه صغيرة أو عندما يكون معدل التصرف كبيرا.

٢- التحكم عن طريق التصرف

وهذه الطريقة يمكن أن تنقسم إلى الثلاث مجموعات التالية :

أ- التحكم عن طريق إختيار عدد المضخات العاملة.

ب- التحكم عن طريق ضبط فتحة محبس الطرد.

ج- التحكم عن طريق سرعة الدوران.

وأفضل طرق التحكم فعالية تلك التى تتم عن طريق التحكم فى سرعة الدوران بالإشتراك مع التحكم عن طريق إختيار عدد المضخات العاملة وهناك عدة أنواع من طرق التحكم فى سرعة الدوران يمكن تصنيفها على أساس السعة ومدى التحكم.

٣- التحكم عن طريق الضغط

وهذه الطريقة يمكن تقسيمها بنفس الطريقة التى سبق التقسيم بها فى حالة التحكم فى معدل التصرف ، وفى كثير من الحالات تكون طريقتا التحكم عن طريق التصرف وعن طريق الضغط لهما نفس الهدف. بينما تكون طريقة التحكم عن طريق الضغط أسهل فى التطبيق لأن قياس الضغط أسهل من قياس معدل التصرف.

١-٨-٦-٢ أجهزة الأمان للتشغيل الأوتوماتيكى

عندما تستخدم طريقة التحكم الكامل يتم تشغيل المضخات بصفة مستمرة مع فصل الجزء الذى يحدث به خلل ولهذا السبب يجب إضافة أجهزة أمان وحماية كافية بحيث يتم تصنيف نوع الخلل :

١- الحمل الزائد على المحرك الرئيسى أو المحرك المساعد.
٢- الانخفاض الغير طبيعى للجهد (الفولت) فى خطوط القدرة الرئيسية
٣- الخطأ الأرضى
٤- التشغيل الجاف (الدوران الجاف)
٥- إيقاف التشغيل (منع الحرارة الزائدة)
٦- الانخفاض الغير طبيعى فى ضغط التصرف
٧- الحرارة الزائدة لكراسى المحاور (فى المضخه أو الموتور)
٨- المستوى الغير طبيعى للمياه فى السحب أو الطرد
٩- تقطع (انقطاع) تغذية التزييت لكراسى المحاور
١٠- تقطع (انقطاع) تغذية المياه مانعة التسرب إلى علبة الحشو (الجلاند)
١١- المستوى الغير طبيعى للماء فى الخزان المساعد أو الخزان المرتفع
١٢- بدء التشغيل غير الناعم

وعندما يحدث أى خطا فى المنظومة يصنف إلى خطأ كبير أو خطأ صغير وفقا لأهميته و فى حالة الخطأ الكبير نوقف المضخه الرئيسية و فى حالة الخطأ الصغير يعطى تنبيه عنه فقط أو تفصل الوحدة المسببة لـه عن المنظومة و تجمع البيانات و ترتب على مبين رئيسى للأعطال فى لوحة التحكم لتسهيل مراقبتها مع وجود إنذار صوتى

١-٨-٦-٣ الملحقات (التوابع) الخاصة بالتشغيل الأتوماتيكى

١- كشاف مستوى المياه

هناك نوعان من كشاف مستوى المياه يستخدمان على مدى واسع أولهما النوع الطافى حيث يعمل هذا النوع بمبدأ الطفو على الماء ، وثانيهما النوع ذو القطب الكهربى (الكترود)ويعتمد فى عمله على التوصيل الكهربى للمياه و سبب إستخدام هذا الجهاز هو تحديد مستوى المياه فى حالة امتلاء الخزان لتشغيل وإيقاف المضخه .

ويكون الكشاف معرضا للسائل المدفوع بالمضخه فإذا كانت نوعية السائل غير جيدة يتم حماية الكشاف .
والنوع الطافى معقد نسبيا فى طريقة تركيبة ولكنه يتميز بسرعة الإستجابة لأى تغير فى مستوى المياه حيث يكون من الضرورى إستخدام النوع ذى الكامة فى كثير من الحالات .
والنوع ذو القطب الكهربى يحتاج إلى فراغ صغير لتركيبه و حجمه مدمج Compact وسهل التداول ولذلك فان هذا النوع يستخدم فى أغراض مختلفة .

٢- مقياس الضغط Pressure Switch (المانومترات)

يستخدم مقياس الضغط لتحديد ضغط تصرف معين أو الضغط الغير طبيعى للتصرف ، ويستخدم كذلك لتحديد الضغط فى المواسير الصغيرة المساعدة مثل المواسير الخاصة بمياه التبريد وتلك الخاصة بمياه منع التسرب. ومن أنواع مقاييس الضغط مقياس ضغط من نوع أنبوبة بوردون والنوع الغشائى والنوع السفلى belows ويلاحظ أن يكون الجزء المعرض للسائل من مقياس الضغط مصنوع من معدن مقاوم للتآكل إذا استخدم لقياس الضغط فى السوائل المسببة للتآكل مثل ماء البحر أو غيره .

٣- مقياس السريان

بإستخدام أنبوبة بيتوت أو أنبوبة الفنشورى أو الأورفس يتم التعبير عن معدل السريان فى صورة فرق ضغط وعند ذلك يحول إلى قيمة كهربية .

٤- مرحل السريان Flow Relay

يستخدم مرحل السريان لتحديد (لكشف) تقطع سائل التبريد أو التزييت للحماية والإنذار وعندما يكون التصرف صغير فإنه لا يكفى الاعتماد على مرحل السريان. عندما يكون التصرف فى حدود ١٠ لتر لكل دقيقة أو أكثر فإنه يمكن الاعتماد على مرحل السريان وحده أما إذا كان التصرف صغيرا جدا فإنه عادة ما يوصل مقياس ضغط بدلا منه .

٥- كشاف درجة حرارة كراسى المحور

كشافات درجة حرارة كراسى المحاور من النوع ذى الميناء (الساعة) وذى الترموستات تستخدم على مدى واسع ، والنوع ذو الميناء يستخدم عندما يركب الكشاف فوق النقطة المطلوب قياس درجة الحرارة فيها أو عندما يزود بتلامس إنذار alarm contact ويستخدم النوع ذو الترموستات عندما يزود بتلامس إنذار .

٦- صمام كهربى Solenoid valve

معظم الصمامات الكهربية تستعمل فى خطوط المواسير ذات الأقطار الصغيرة أو مواسير الخطوط المساعدة وتستخدم بطريقة مباشرة إذا كان القطر حتى ٧٥ مم والضغط منخفض.

١-٩ الطرق المائى Water hammer وكيفية منعه

١-٩-١ الطرق المائى فى المضخات ذات الغلاف الحلزونى

ظاهرة الطرق المائى ظاهرة خطيرة تحدث فى حالة إيقاف أو تشغيل المضخات أو فى حالة غلق أو فتح محبس فجائيا. وهى تنتج عن التغير السريع فى سرعة السريان مما يترتب عليه توليد موجة من الضغط فيتغير الضغط داخل الماسورة موجيا بالزيادة والنقصان مما يستلزم حماية الخطوط من هذه الظاهرة التى قد تسبب كسرا أو تشوه فى الخطوط أو حدوث تسرب . كما أنها قد تؤدى إلى خسائر فادحة فى أماكن تثبيت الخطوط و عنابر المضخات . ولمنع حدوث هذه الظاهرة لا بد أن تتوافر البيانات الدقيقة عن المضخات وخطوط المواسير عند بداية التصميم لوضع الحلول وطرق الحماية المناسبة .

١-٩-٢ طريقة الحساب

١-٩-٢-١ سرعة موجة الضغط (a)

يمكن حساب سرعة الضغط فى المواسير من العلاقة :

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + (\frac{K \text{ x } D}{E \text{ x } t})}} \qquad (1\text{-}20)$$

حيث

E – معامل المرونة الحجمى لمادة المواسير (N)

K – معامل المرونة الحجمى للماء = $2.07 \text{ x } 10^8 \ (N / m^2)$

D – القطر الداخلى للمواسير (m)

t – سمك جدار المواسير (m)

مع ملاحظة أنه :

- فى حالة إستخدام مواسير من الحديد الزهر فإن $E = 1.1 \text{ x } 10^{10}$ (Pa)
- فى حالة إستخدام مواسير من الصلب فإن $E = 2.0 \text{ x } 10^{10}$ (Pa)
- فى حالة إستخدام مواسير من الاسبستوس فإن $E = 0.3 \text{ x } 10^{10}$ (Pa)

فى حالة إستخدام مواسير من الخرسانة فإن $E = 0.2 \text{ x } 10^{10}$ (Pa)

١-٩-٢-٢ حساب زمن موجة الضغط (T)

زمن موجة الضغط هو الزمن الذى تستغرقه موجة الضغط من مخرج المضخه إلى نهاية الخط والعودة ويمكن حساب زمن رحلة موجة الضغط من العلاقة :

$$T = 2L/a \qquad (1\text{-}21)$$

حيث

T – زمن رحلة موجة الضغط (s)
L – طول خط المواسير (m)
a – سرعة موجة الضغط فى خط المواسير (m / s)

١-٩-٢-٣ حساب التغير فى الضغط

يمكن حساب التغير فى الضغط فى الحالات الآتية

١- إذا كان زمن غلق الصمام أقل من زمن رحلة موجة الضغط أى $T_v \le \frac{2L}{a}$

فإن التغير فى الضغط بالزيادة أو النقصان يمكن حسابه من العلاقة الآتية

$$\Delta H = \frac{a}{g} \times V_0 \qquad (1\text{-}22)$$

حيث

T_v - زمن غلق الصمام (s)
ΔH – التغير فى الضغط (m)
a – سرعة موجة الضغط (m / s)
g – عجلة الجاذبية (m / s^2)
V_0 – سرعة السريان المستقر فى المواسير (m / s)

مع ملاحظة أن هذه الحالة يمكن تطبيقها فى حالة إيقاف المضخه أو انقطاع التيار الكهربي.

٢- إذا كان زمن غلق الصمام أكبر من أو يساوى زمن موجة الضغط أى $T_v \ge \frac{2L}{a}$

فإن التغير فى الضغط يمكن حسابه من العلاقة الآتية

$$\Delta H = \frac{n}{2}(n + \sqrt{n^2 + 4}) \times H_{st} \qquad (1\text{-}23)$$

حيث

$$n = \frac{L}{g} \times \frac{\Delta V}{T_v H_{st}}$$

L – طول خط المواسير (m)
ΔV – التغير فى سرعة السريان (m / s)
g – عجلة الجاذبية (m / s^2)
H_{st} – الضاغط الأستاتيكى (m)
T_v – زمن فتح أو غلق الصمام (s) ثانيه

٣- عدم وجود صمام عدم رجوع على خط الطرد

يمكن إستخدام الخرائط التى أعدها بارمكن والموضحة بالأشكال من رقم (١-٣٠) وحتى (١-٣٧) حيث يمكن حساب الثوابت كالآتى :

أ- حساب الثابت K يمكن حسابه من العلاقة

$$K = \frac{134250}{GD^2} \times \frac{P_0}{N_0^{\;2}} \qquad (1\text{-}24)$$

حيث

N_0 – عدد لفات الدوران فى حالة التشغيل المستقر (r.p.m)

P_0 – القدرة الفرملية لعمود الإدارة فى حالة التشغيل المستقر (H.P)

GD^2 – تأثير القصور الذاتى للأجزاء الدوارة بالمضخه والمحرك ($Kg.m^2$)

مع ملاحظة أن :

GD^2 للعضو الدوار للمحرك تمثل ٩٠ % بينما الأجزاء الدوارة بالمضخه تمثل ١٠ %

ويمكن حساب GD^2 للمحرك الكهربى من العلاقة

$$GD^2 = (0.013 : 0.005)\ (BHP)^{1.4}\ \ (PP)^{0.75} \qquad (1\text{-}25)$$

حيث المعامل الأقل للمحركات ذات العضو الدوار المستدير الشكل والمعامل الأكبر للمحركات ذات العضو الدوار ذى القفص السنجابى المزدوج ولزيادة الأمان يمكن إستخدام المعامل الأقل (٠,٠٠٥) .

PP – عدد أقطاب المحرك

BHP – قدرة المحرك الكهربى بالكيلووات

ب- حساب زمن رحلة موجة الضغط

يمكن حساب زمن موجة رحلة الضغط من العلاقة (١-٢٠)

ج- حساب ثوابت المواسير

يمكن حساب ثابت خط المواسير من العلاقة

$$2\rho = \frac{a}{g} \times \frac{V_0}{H_0} \qquad (1\text{-}26)$$

وذلك فى حالة إستخدام خط مواسير ذى قطر ثابت

أما فى حالة خط مواسير مختلف الأقطار فإنه يمكن حساب ثابت خط المواسير من العلاقة الآتية :

$$2\rho = \frac{Q_0 \times \sum(\frac{L}{A_n})}{gH_{st} \times \sum(\frac{L_n}{a_n})} \qquad (1\text{-}27)$$

حيث

$$\frac{L}{a} = \sum(\frac{L_n}{a_n})$$

V_0 – سرعة السريان فى المواسير عند بداية حدوث الظاهرة (m / s)
H_0 – الضاغط الأستاتيكى (m)
2ρ - ثابت خط المواسير
Q_0 – التصرف فى حالة السريان المستقر (m^3 / s)
A – مساحة مقطع الماسورة (m^2)
ومن الخرائط الموضحة بالأشكال رقم من (١-٣٠) وحتى (١-٣٧) يمكن استنتاج الآتى :

١- الهبوط فى الضاغط كنسبة مئوية من ضاغط المضخه عند مخرج المضخه.
٢- الهبوط فى الضاغط كنسبة مئوية من ضاغط المضخه عند منتصف خط المواسير.
٣- الزيادة فى الضاغط كنسبة مئوية من ضاغط المضخه عند مخرج المضخه.
٤- الزيادة فى الضاغط كنسبة مئوية من ضاغط المضخه عند منتصف خط المواسير.
٥- أقصى سرعة دوران عكسية كنسبة مئوية من سرعة الدوران للمضخه.
٦- زمن السريان العكسى للمضخه.
٧- زمن توقف المضخه بعد انقطاع التيار.
٨- زمن أقصى سرعة دوران بعد انقطاع التيار الكهربي.

١-٩-٣ طرق الحماية من الطرق المائى

تعتمد طرق الحماية من الطرق المائى على محاولة جعل التغير فى سرعة السريان خلال الفترة الانتقالية التى يحدث فيها الطرق المائى بطئ بقدر الإمكان.

والأجهزة التى يمكن أن تستخدم لهذا الغرض يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات حسب الهدف من هذه الأجهزة وهى :

١- أجهزة تعمل بغرض خفض التغير فى سرعة السريان.
٢- أجهزة تعمل بغرض منع الهبوط الشديد فى الضغط.
٣- أجهزة تعمل بغرض تحديد الزيادة فى الضغط.

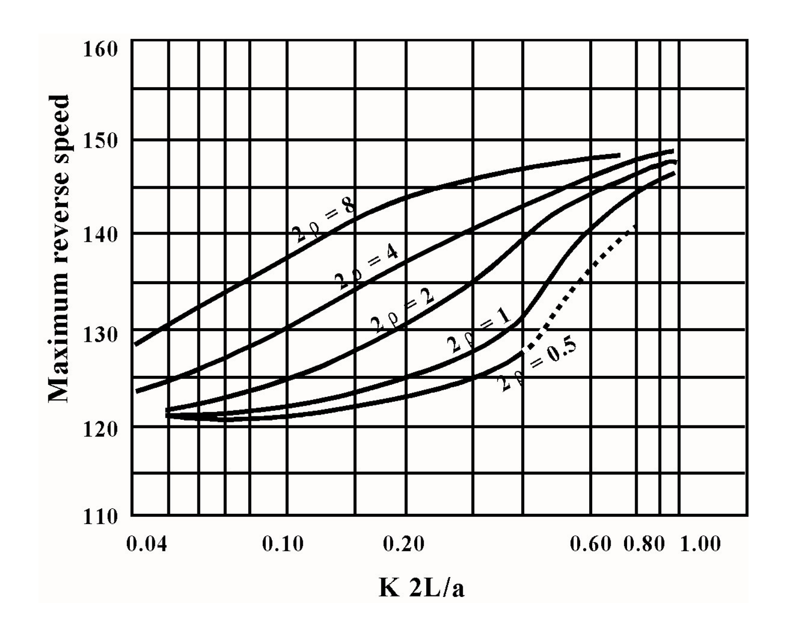
وتعتمد طريقة الحماية على الحالة الموجودة فيمكن إستخدام جهاز بسيط كافى لبعض حالات بينما حالات أخرى تطلب إستخدام أجهزة مركبة .

ومن الضرورى اللجوء إلى الدراسة التفصيلية والتحليل الدقيق من خلال إستخدام برامج الحاسب الآلى المتاحة وإختيار الوسائل المناسبة حسب الحالة الموجودة .

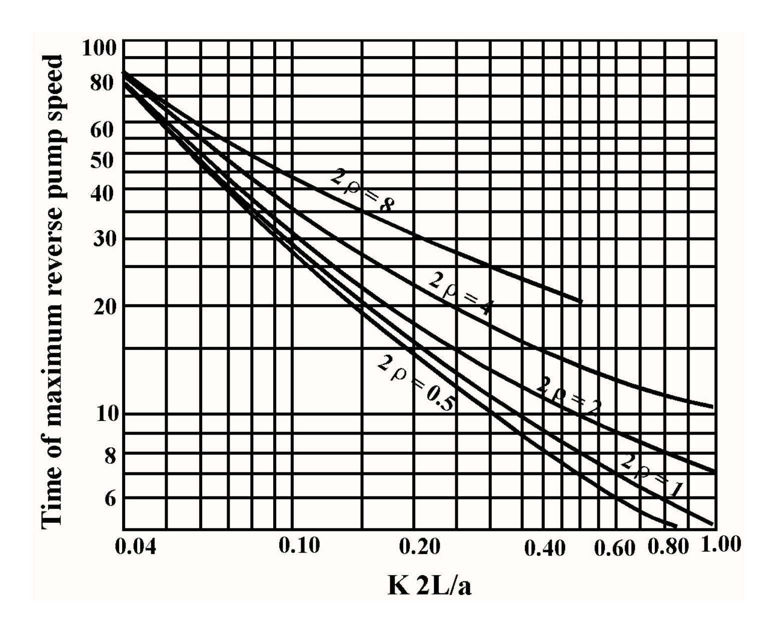
والجدول التالى (١-١٣) يوضح الطرق المختلفة والغرض منها والتطبيق العملى لها .

جدول (١-١٣)

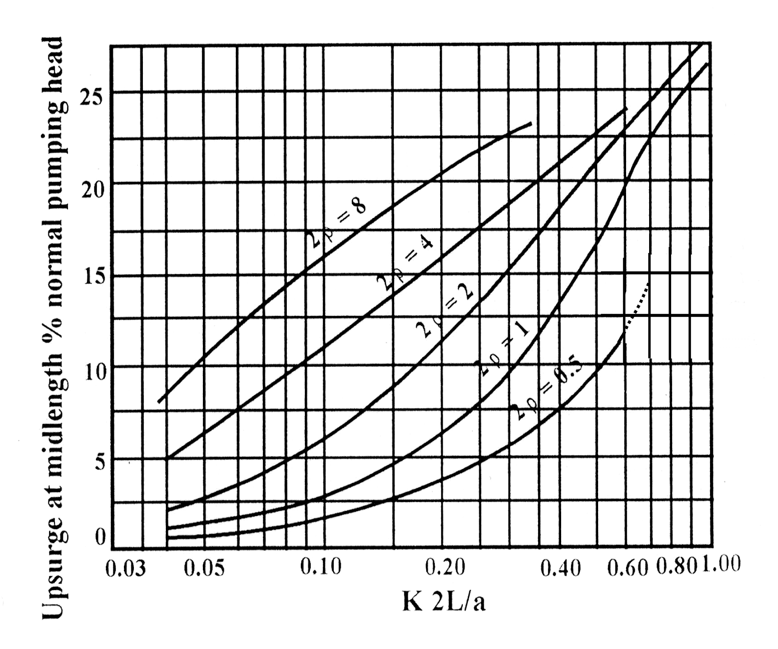
م	الطريقة	الغرض منها	التطبيق العملى
١	إختيار سرعة سريان بطيئة	تقليل التغير فى سرعة السريان	أحسن سرعة سريان فى الخطوط فى حدود ١ م / ث أو أقل
٢	زيادة (GD^2) تأثير القصور للأجزاء الدوارة	خفض التغير فى سرعة الدوران وسرعة السريان	إضافة قيمة معينة من GD^2 إلى الكوبلنج وإذا لم يكن كافى فيمكن تركيب حدافة
٣	دفع الماء إلى خط الطرد	الحماية من حدوث ضغط تفريغ عن طريق الهبوط الشديد فى الضغط	خزان لتدفق أو تغذية من منسوب السحب بواسطة ماسورة منفصلة
٤	دفع الهواء إلى خط الطرد	الحماية من حدوث ضغط تفريغ عن طريق الهبوط الشديد فى الضغط	غرفة هواء أو محبس هواء
٥	إستخدام صمام عدم رجوع بطئ القفل	الحماية من زيادة الضغط	غلق صمام عدم الرجوع ببطيء عن طريق السريان العكسى ومانعات الاهتزاز الزيتية
٦	التحكم الجبرى للصمام الرئيسي	الحماية من زيادة الضغط	التحكم الجبرى فى الصمام الرئيسى عن طريق قوى ضغط زيت أو هواء أو ماء ومنبع كهربى مباشر (D.C)
٧	إزالة صمام عدم الرجوع من الخط	الحماية من زيادة الضغط	عندما لا يستخدم صمام عدم رجوع فإن الزيادة فى الضغط تكون صغيرة إذا ما قورنت بحالة إستخدام صمام عدم رجوع ولكن فى هذه الحالة يحدث دوران عكسى للمضخه والمحرك
٨	إستخدام صمام أوتوماتيكى لتنظيم الضغط	الحماية من زيادة الضغط	هذا الصمام يفتح فى نفس الوقت الذى يتوقف فيه المحرك ويمنع تغير الضغط فى الفترة الانتقالية وبعد فترة زمنية يقفل تدريجيا والسريان خلال هذا الصمام لا يمر على المضخه
٩	إستخدام صمام أمان	الحماية من زيادة الضغط	يتم إخراج المياه عن طريق الصمام عندما يصل الضغط إلى قيمة معينة وهناك أنواع مثل الأنواع ذات أثقال الاتزان أو ذات اليايات المحملة



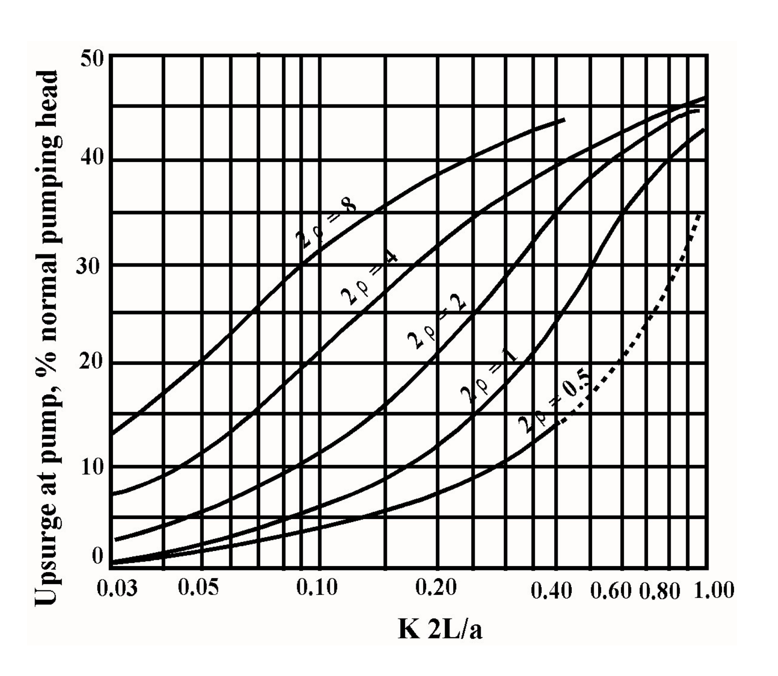
شكل (١-٣٠)



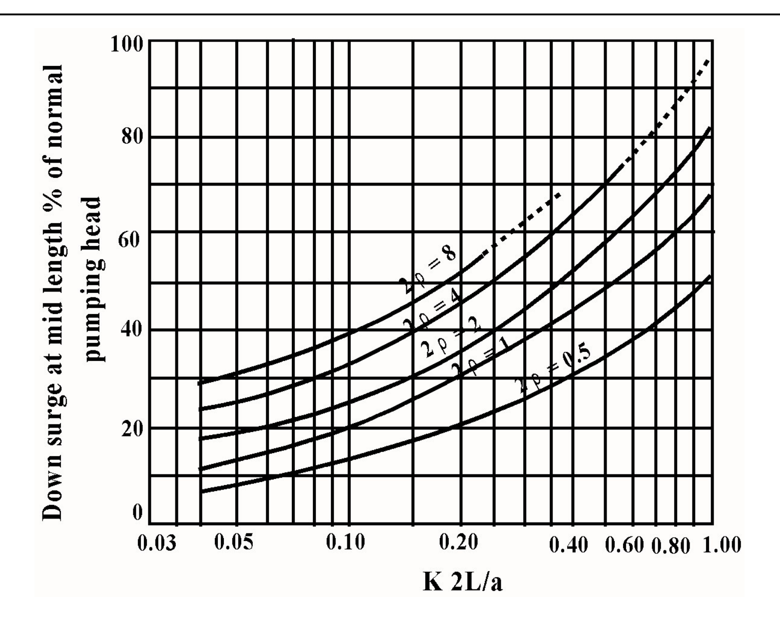
شكل (١-٣١)



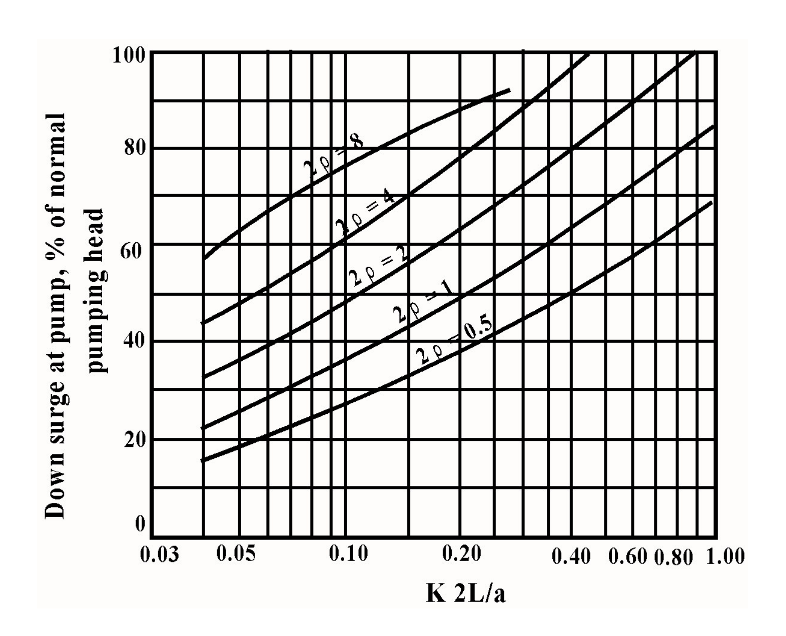
شكل (١-٣٢)



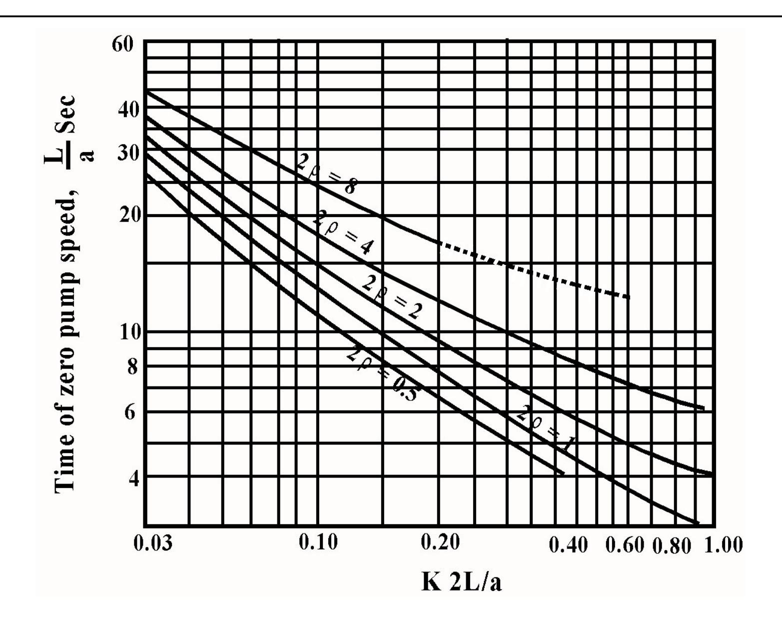
شكل (١-٣٣)



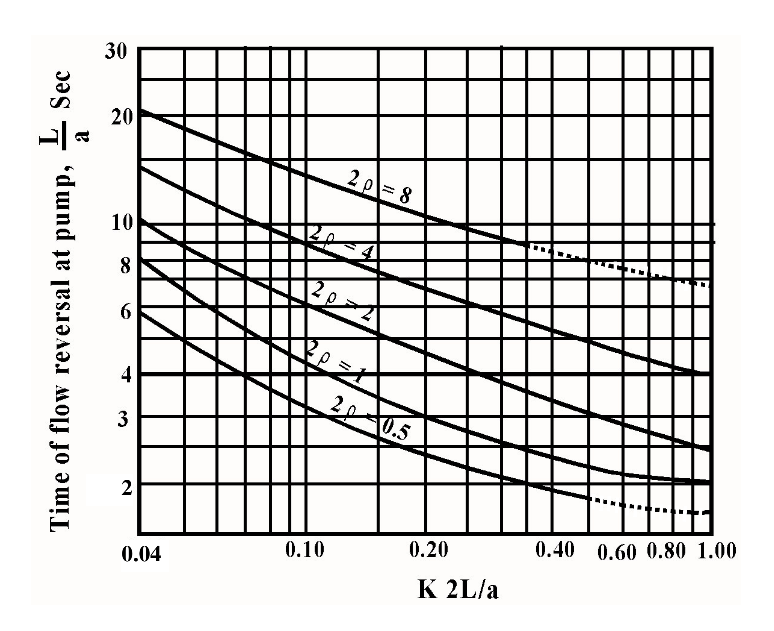
شكل (١-٣٤)



شكل (١-٣٥)



شكل (١-٣٦)



شكل (١-٣٧)

١-١٠ تعليمات التركيب والتشغيل والصيانة

١-١٠-١ تخطيط موقع التركيب

يجب التوضيح بالرسم التخطيطى المضخة والمحرك وغرفة التحكم والأجهزة الإضافية بحيث يتم إختيار أفضل توزيع للأجهزة مما يساعد فى عمليات الفك والتركيب وتقليل التكاليف والاستفادة من المكان مع مراعاة النقط الآتية عند التخطيط لعملية التركيب :

١- أن تكون المضخة قريبة من حوض المص حتى تكون ماسورة السحب قصيرة بقدر الإمكان.
٢- أن يكون عمق السحب قليل بحيث لا يزيد ارتفاع مركز المضخة عن أدنى منسوب مص عن ٦ متر فى حالة المضخات الصغيرة والتى قطرها ١٠٠ مم أو أقل. أما بالنسبة للمضخات المتوسطة والكبيرة الحجم فيجب ألا تزيد المسافة الرأسية بين مركز المضخه وأدنى منسوب مص عن المسافة التى تساوى (NPSH) والتى لا تسبب حدوث التكهف.
٣- يجب أن يكون عرض محطة المضخات كافى ويسمح بالكشف على الأجهزة واستبدال قطع الغيار والأجزاء بالكامل فى أى وقت مع الأخذ فى الاعتبار جميع ظروف التشغيل كما يجب وضع المعدات الكهربائية فى مكان مرتفع لتفادى حالة الفيضان أو الغرق.
٤- يجب وضع أجهزة القياس فى مكان يسهل معه على العاملين ملاحظتها أثناء التشغيل.

١-١٠-٢ قاعدة المضخه Foundation

يراعى عند تصميم قاعدة المضخه البنود الآتية :

١- يجب أن تكون قاعدة المضخه قوية ومتسعة بالقدر الكافى.
٢- فى حالة المضخات التى تعمل بالكهرباء يجب أن يكون وزن القاعدة الخرسانية فى حدود من ٣ : ٥ أمثال وزن المضخة والمحرك. أما فى حالة المضخات التى تعمل بواسطة محرك احتراق داخلى فيجب أن يكون سمك القاعدة فى حدود من ٥ : ٧ أمثال قطر الأسطوانة الخاصة بالمحرك ويكون عرض القاعدة ضعف أو ثلاث أمثال عرض المحرك ويكون طول القاعدة من ١,٥ : ٢ مثل طول قاعدة المحرك على أن يكون وزن القاعدة فى حدود من ٣,٥ : ٦ أمثال وزن المضخة والمحرك.

ويراعى أخذ الحد الأكبر من النسب السابقة فى حالة المحركات ذات ٤ أسطوانات أو أقل (الوزن النوعى للخرسانة ٢,٣ تقريبا).

٣- يراعى حفر حفرة بالحجم المطلوب ويتم تغطيتها من أسفل بطبقة من كسر الأحجار والرمال ويتم دمجها معا ويوضع القالب وتصب الخرسانة.
٤- فى حالة الأرض الضعيفة يوضع قضبان من الحديد فى الأرض أو قطع خشبية ثم توضع الخرسانة بعد ذلك.
٥- تكون نسب خلط الأسمنت مع الرمل والزلط بنسبة ١ : ٢ : ٤ تقريبا.
٦- تترك القاعدة الخرسانية لمدة أسبوعين حتى تأخذ شكلها تماما ثم بعد ذلك يتم تركيب المضخة.
٧- عند وصل المضخة مع المحرك أو صندوق التروس يراعى أن تكون القاعدة الخرسانية واحدة حيث أنه فى حالة ما تكون قاعدة المضخة منفصلة عن قاعدة المحرك دائما ما يحدث خطأ فى عملية محاذاة المضخة مع المحرك لحدوث هبوط طفيف للأرض حتى ولو أن هذه القواعد على درجة عالية من الصلابة والجساءة. ولذا يتطلب من وقت لآخر إجراء عملية ضبط محاذاة المضخة مع المحرك.
٨- من الضرورى ترك مسافة بين قاعدة المضخة والقاعدة الخرسانية فى حدود من ١ : ٣ سم وذلك لضبط الاستواء عند التركيب.

٩- يراعى أن تكون فتحات الجوايط بالقاعدة الخرسانية والخاصة بمسامير الربط مربعة الشكل وذات أبعاد كافية.

١-١٠-٣ تركيب المضخات

إن تركيب المضخه له تأثير كبير على عمرها وأدائها ومن الضرورى مراعاة الآتى عند عملية التركيب:

١-توضع القاعدة الحديدية على القاعدة الخرسانية بحيث يقابل كل جاويط الفتحة المربعة المناظرة له فى القاعدة الخرسانية.

ويضبط الاستواء بإستخدام ميزان مائى ووضع لينات أسفل كل جانب من جانبى القاعدة الحديدية وبذلك نتجنب حدوث انفعال (Strain) للقاعدة الحديدية.

٢-يتم إجراء عملية ضبط استواء محور المضخه مع المحرك.
٣-توضع كمية كافية من مونه الأسمنت المعجون الطرى فى فتحات الجوايط وكذا فى الفراغات بين القاعدة الحديدية والفرشة الخرسانية.
٤-بعد أسبوعين يتم ربط المسامير بالصواميل ومراجعة اتزان المضخه مع المحرك.
٥-وصل الكوبلنج وربط المسامير الخاصة به وإدارته باليد ومراجعته للتأكد من عدم وجود أى تأثير على الكراسى ودوران العمود بنعومة.
٦-يراعى عند وصل وصلات السحب والطرد التأكد من أن المضخه لا يقع عليها أى حمل ناتج من أوزان الوصلات أو تعرضها لربط غير كافى وغير ملائم لظروف التركيب ويراعى التأكد مرة أخرى من محاذاة المضخة مع المحرك.
٧-فى حالة إستخدام سير لإدارة المضخه يراعى ضبط شد السير على الطنابير حتى يسهل إدارتها باليد. ولتقليل انزلاق السير يكون الشد فى الجهة السفلى للسير قوى مع وجود ارتخاء طفيف للجهة العليا من السير. كما يراعى أن تكون طنابير المضخه والمحرك فى مستوى واحد ومتعامدان على أعمدة الدوران أى يكون العمودان متوازيان. على أن تكون نسبة السرعة فى حالة السير المسطح فى حدود من ١ : ٦ أو أقل وفى حالة السير حرف V فى حدود من ١ : ٧ أو أقل.

١-١٠-٤ تعليمات التشغيل

١-١٠-٤-١ تعليمات قبل بدء التشغيل

١- مراجعة كمية الشحم أو زيت التزييت.
٢- إدارة عمود المضخه باليد والتأكد من دوران العمود بنعومة.
٣- فتح الصمام جهة السحب بالكامل وتنظيف الشبكة بكل عناية.
٤- التأكد من أن الصمام جهة الطرد مقفول.

مع ملاحظة أنه فى حالة المضخات ذات السريان المحورى أحيانا لا يمكن إدارتها وصمام الطرد مقفول لأن الطاقة المطلوبة فى بداية التشغيل كبيرة جدا.

١-١٠-٤-٢ تعليمات عند بدء التشغيل

١- يراعى التأكد من مسامير ربط الكوبلنج ومراجعة اتجاه الدوران للعمود.
٢- تحضير المضخه بكمية مناسبة من المياه وذلك فى حالة وجود بلف القدم .

٣- بدء التشغيل وصمام الطرد مقفول وبعد ذلك يتم الفتح بالتدريج مع ملاحظة عدادى السحب والطرد .
٤- فى حالة تشغيل المضخه وصمام الطرد مقفول لفترة طويلة فإن درجة حرارة السائل تزداد بالإضافة إلى تكون جيوب هوائية بالمضخه ولذلك يجب فتح صمام الطرد فى الوقت المناسب.

١-١٠-٤-٣ تعليمات أثناء التشغيل

١- مراجعة كراسى المحاور وكذلك مستوى الزيت ونعومة الدوران ومتابعة درجة حرارة كراسى المحاور والتى يجب أن تكون فى حدود درجات الحرارة العادية . أى أن درجة الحرارة عند السطح الخارجى للغلاف الخارجى للكراسى يجب أن لا تزيد عن ٣٠ درجة مئوية .
٢- مراجعة الحشو مع مراعاة أن الماء الداخل للحشو يجب أن يكون نظيفاً حتى لا يتسبب فى وجود زيادة فى درجة الحرارة و يجب عدم زيادة الربط على الحشو. وأنسب معدل تصرف للمياه للحواكم والذى يساعد على تقليل درجة الحرارة الناتجة من الاحتكاك عبارة عن كمية صغيرة من المياه تتسرب باستمرار على شكل نقط من صندوق الحشو .
٣- عند حدوث امتصاص للهواء داخل المضخه فإن ذلك يسبب ضوضاء غير عادية وربما يحدث اهتزازات ولذلك يجب التأكد من عدم وجود نقط لامتصاص الهواء .
٤- مراجعة الاهتزازات وتحديد أسبابها حيث أن عدم ملائمة الكوبلنج أو عدم أتزان الأجزاء الدوارة من أهم الأسباب التى تؤدى إلى حدوث الاهتزازات .
٥- مراجعه التصرف والضغوط والتيار ومدى التغير الذى قد يحدث نتيجة امتصاص هواء داخل المضخة او دخول مواد صلبة من خلال المصفاة الموجودة مع بلف القدم نتيجة عدم كفاءتها .

١-١٠-٤-٤ تعليمات بعد الإيقاف

١- يراعى غلق صمام الطرد ومحابس العدادات قبل إيقاف المحرك .
٢- فى حالة المضخات ذات السريان المحورى تزود عادة بالسيفونات ولذلك يفتح صمام التفريغ الفرملى ويطرد الماء ثم يتم إيقاف المحرك .
٣- فى حالة عدم وجود صمام القدم يتم فتح صمام التفريغ الفرملى فى نفس وقت إيقاف المضخة ويتم إرجاع الماء من المضخة إلى خزان السحب .
٤- يجب غلق مفتاح التشغيل وصمام الطرد فى نفس الوقت عند انقطاع التيار الكهربى أثناء التشغيل . وفى حالة المضخات ذات السريان المحورى يتم فتح صمام التفريغ الفرملى قبل غلق صمام الطرد .
٥- فى حالة إيقاف المضخة لفترات طويلة يجب فتح محبس التصريف وطرد الماء الموجود بالمضخة بالكامل لحماية المضخة ومكوناتها أثناء فترة التوقف .

١-١٠-٥ صيانة المضخات

١- يجب إعداد سجل لكل مضخة لتسجيل نتائج الفحص والصيانة من وقت إلى آخر بالإضافة إلى ظروف التشغيل اليومية. وفى حالة حدوث أى تغيير فى ظروف التشغيل يجب تحديد السبب حتى يمكن عمل اللازم وضمان أداء جيد للمضخة .
٢- يجب تجميع نتائج الفحص الدورية والتى تشمل :
أ- مراجعة محاذاة الكوبلنج مرة كل شهر .
ب- تغيير زيت تزييت الكراسى مرة كل ثلاث شهور وتغيير الشحم فى الكراسى مرة كل عام أما فى حالة التشغيل المستمر يراعى تغيير الزيت والشحم حسب زمن التشغيل كما يلى :

١- فى حالة كراسى رمان بلى قطرية

$$t_f = \frac{64 \times 10^6}{n\sqrt{d}} - 18d \qquad (1-28)$$

٢- فى حالة كراسى رمان بلى أسطوانية

$$t_f = \frac{32 \times 10^6}{n\sqrt{d}} - 9d \qquad (1-29)$$

٣- فى حالة كراسى رمان البلى المسلوبة

$$t_f = \frac{16 \times 10^6}{n\sqrt{d}} - 7d \qquad (1-30)$$

حيث

t_f - فترة تغيير الشحم بالساعة

n – سرعة دوران الكرسى (دورة / دقيقة)

d – قطر الكرسى الداخلى (مم)

مع مراعاة الآتى عند تشحيم الكراسى :

١- تشغل كمية الشحم من ثلث إلى نصف الفراغ فى حالة إستخدام شحوم ناعمة ومن نصف إلى ثلثين فى حالة إستخدام شحوم أقل نعومة.

٢- يراعى عدم إضافة كمية أكبر من الشحوم حتى لا يحدث زيادة فى درجة الحرارة على الكراسي.

٣- عند تآكل بطانة الحلقات فإن تسريب المياه يزداد وتقل كفاءة المضخة ولذلك يجب تغيير الحلقات عندما يكون الخلوص بين الحلقات ومدخل المروحة فى حدود من ٣ : ٥ أمثال القيم الموضحة بالجدول (١-١٤).

جدول رقم (١-١٤)

القطر (مم)	٥٠ - ٨٠	١٠٠ – ١٥٠	١٨٠ - ٢٥٠	٣٥٠ - ٥٠٠	٦٠٠ - ١٠٠٠
الخلوص (مم)	٠,١٦ – ٠,٣٠	٠,٢٠ – ٠,٣٦	٠,٣٦ – ٠,٦٠	٠,٤٠ – ١,٠٠	٠,٧٠ – ٢,٠٠

٤- فى حالة تآكل فى الكراسى تحدث اهتزازات. وعندما يكون الخلوص بين العمود والكراسى ثلاث أمثال القيم الموجودة بالجدول (١-١٥) يتم تغيير الكراسي.

جدول رقم (١-١٥)

القطر (مم)	١٠ - ٣٠	٣٠ _ ٥٠	٥٠ _ ٨٠	٨٠ - ١٢٠	١٢٠ - ١٨٠	١٨٠ - ٢٦٠
الخلوص (مم)	٠,٠٤ _ ٠,٠٨	٠,٠٧٥ _ ٠,١٢٠	٠,١٠ _ ٠,١٦	٠,١٢ _ ٠,١٨	٠,١٤ _ ٠,٢٢	٠,١٨ _ ٠,٢٦

٥- فى حالة وجود تسريب كبير رغم تغيير الحشو يجب مراجعة الجلبة وتغييرها.
٦- عندما يحدث تآكل غير منتظم فى الجلد الخاص بمسامير الكوبلنج فإن هذا يعنى فقد المرونة الرأسية ولذلك يتم تغيير الجلد.

١-١٠-٦ المواسير وملحقاتها فى مص وطرد المضخه

يجب تركيب صمام عدم رجوع وصمام تحكم فى خط الطرد. حيث يوضع صمام عدم الرجوع بين المضخه وصمام التحكم وذلك لحماية المضخه من السريان العكسى والزيادة فى الضغط الخلفى. أما صمام التحكم فإنه يساعد فى عملية التحضير عند بدأ التشغيل وعند الإيقاف المؤقت للسريان. وينصح بقفل صمام التحكم قبل إيقاف المضخه ما عدا فى حالة المضخات ذات السريان المحورى والمختلط ولذلك أهميته الخاصة عندما تعمل المضخه عند ضغط استاتيكى عالى.

١-فى حالة استخدام المسلوب المتزايد المقطع جهة الطرد لزيادة حجم مواسير الطرد فإنه يجب أن يوضع بين صمام عدم الرجوع والمضخه.
٢-فى حالة استخدام وصلات التمدد فيجب وضعها بين صمام عدم الرجوع والمضخه.
٣-يجب منع دخول الهواء إلى مواسير السحب وخاصة فى حالة مواسير السحب الطويلة أو فى حالة ما إذا كان الرفع الأستاتيكى جهة السحب عاليا.
٤- غالبا ما تحدث مشاكل فى حالة استخدام المواسير ذات الشكل المخروطى والتى تتسع لإدخال ماسورة أو ذات الطرف الذكرى فى خط السحب ويمكن إستخدام مواسير مقلوظة فى حالة استخدام المواسير ذات الحجم الصغير ويجب استخدام مواسير مزودة بفلانشات فى حالة الأحجام الكبيرة أو فى حالة ما إذا كان الرفع جهة السحب عاليا.

١-١٠-٦-١ مراجع حسابات الطرق المائى

التغيير فى الضغط بسبب الطرق المائى يعتبر دالة فى سرعة السريان وزمن غلق البلوف أو قطع التيار الكهربى وسرعة الضغط فى الماسورة.

ويمكن عمل حسابات دقيقة وعلى درجة كبيرة من الدقة عن طريق المتخصصين فى هذا المجال وذلك بمعرفة كل العوامل التى تؤثر فى الطرق المائى ودراستها.

١-١٠-٦-٢ سرعة الدوران العكسية

السريان العكسى يحدث نتيجة توقف المحرك أثناء تشغيل المضخة أو عدم أداء صمام عدم الرجوع لوظيفته نتيجة وجود خلل فى التركيب.

ونتيجة السريان العكسى ينتج رفع أستاتيكى وسوف تعمل المضخة كتربينة هيدروليكية فى عكس اتجاه دوران المضخة.

يمكن تزويد محركات المضخات الرأسية بسقاطة لمنع الدوران العكسى إلا أن إستخدامها يحتاج إلى مراجعة المصنع كما أنها غير مرغوب فيها.

١-١٠-٦-٣ ميل ماسورة المص

خط السحب الأفقى يجب أن يكون فى مستوى المضخة حيث أن أى نقطة عالية عن مص المضخة سوف تملأ بالهواء وهذا يقلل من أداء المضخه.

ولذلك لا يجب إستخدام المسلوب المركزى المصغر لمقطع السريان جهة السحب حيث تتكون جيوب هوائية فى قمة المسلوب ويمكن إستخدام المسلوب غير المركزى المصغر لمقطع السريان بدلا من المسلوب المستقيم.

تكون الجيوب الهوائية يؤدى إلى دخول الهواء المضطرب إلى المضخة وربما يؤدى إلى فقد المضخة لحالة التحضير وهذا يحدث عند إستخدام صمام القدم فى المضخة.

فى حالة إستخدام مضخة تفريغ أو مضخة طاردة مركزية فإن كمية صغيرة من الهواء تتكون وتؤدى إلى اضطرابات فى قمة الصمامات الموجودة جهة السحب ولذلك يوصى بإستخدام صمام بوابة جهة السحب ويمكن إيقاف تأثير الجيوب الهوائية جهة السحب بالتحضير والتشغيل أكثر من مرة ولكن بتكرار التشغيل تتكون جيوب هوائية مرة أخرى ولذلك يجب الحد من تكون الجيوب الهوائية.

١-١٠-٦-٤ صمام عدم الرجوع

الغرض من إستخدام صمام عدم الرجوع هو حماية المضخة من السريان العكسى ولا يستخدم صمام عدم الرجوع فى خطوط السحب عادة بالرغم من أنه أحيانا يستخدم فى وصلات التوازى والتوالى لتقليل عدد الصمامات التى تستخدم عند التحويل أو التغيير من التشغيل على التوالى إلى التشغيل على التوازي.

١-١٠-٦-٥ كوع المص

فى حالة المضخات ذات السحب المزدوج يتم تركيب كوع مص مباشرة مع بوق السحب ما عدا الحالة التى يكون فيها كوع المص فى مستوى زاوية قائمة مع عامود المضخة. عادة ما يكون هناك سريان غير منتظم فى كوع المص ، وعندما يتم تركيبه فى أى اتجاه غير المستوى العمودى على عمود المضخة والسريان غير المنتظم فإن ذلك يؤدى إلى دخول الماء إلى أحد جانبى الريشة أكثر من الجانب الأخر مما ينتج عنه تقليل معدل التصرف والكفاءة والرفع والذى ربما يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة كراسى الدفع المحورى ، وبهذا يحدث انهيار سريع فى الكراسي. كما أن توزيع السريان غير المنتظم ربما يؤدى إلى خسائر للمروحة بسبب حدوث التكهف وانفصال السريان أو أحدهما.

إذا كان من الضرورى إستخدام كوع مص فيجب أن يكون من النوع ذى نصف القطر الكبير.

١-١٠-٦-٦ صمام القدم Foot Valve

١- يجب تركيب بلف القدم عندما يكون رفع السحب صغيرا وذلك لتسهيل عملية التحضير.

٢- يجب أن لا يستخدم بلف القدم عندما تعمل المضخة عند رفع أستاتيكى كبير ، حيث انقطاع الحركة يجعل الماء يندفع بسرعة فى الاتجاه الخلفى مسببا طرق مائى ثقيل وهذا عمليا حقيقى بالنسبة للتربينات الرأسية والمضخات الغاطسة والتى لا تستخدم صمام القدم.

عند إستخدام صمام القدم يفضل إستخدام النوع المفصلى (Flap) عن الأنواع ذات اليايات ويجب أن تكون المفاقيد أقل ما يمكن بالإضافة إلى أن يكون هناك ممر واضح للمياه وعلى الأقل بنفس مساحة مقطع ماسورة السحب مع مراعاة حماية المضخة من الأجسام الغريبة ومن الاصطدام بصمام القدم. ولذلك يجب أن يزود صمام القدم بمصفاة وعندما يكون هناك نفايات وغصون وأوراق فى الماء يجب وضع شبكة كبيرة خارجية حول مدخل السحب لتمنع وصولها إلى المصفاة مع مراعاة أن تكون فتحات الشبكة مناسبة حتى لا تزيد سرعة السريان عن (٠,٦ متر / ث).

١-١٠-٦-٧ صندوق الحشو

فى بعض الأحيان تركب الحشوة قبل عملية الشحن وفى حالة عدم تركيب الحشوة فإنه يجب تنظيف صندوق الحشو بعناية ووضع الحشوة قبل وضع المضخة فى وضع التشغيل.
ويؤخذ فى الاعتبار النقاط الآتية :

١- يراعى إختيار الحشوة المناسبة. وفى حالة إستعمال حلقة فانوسية (Lantern) فإن السائل يوضع فى هذه الحلقة وليس فى الحشوة.
٢- يراعى إحكام ماسورة دخول السائل جيدا حتى لا يدخل أى هواء وخصوصا جهة السحب حيث دخول الهواء من خلال هذه النقطة قد يؤدى إلى فقد السحب.
٣- فى حالة ما إذا كان السائل يحتوى على عوالق أو ذرات على شكل حبيبى أو حامض فإنه يجب توصيل سائل نظيف من مصدر خارجى إلى علبة الحشو وذلك لمنع أى خسائر فى الحشوة وجلب العامود وبشرط أن يكون ضغط السائل مناسبا ولا يسبب ضغطا على الحشوة.
٤- كل حلقة حشو يجب أن تقطع بطول معين ومناسب مع مراعاة عدم تشابك الحلقات وتداخلها كما يراعى تدرج وتعرج وصلات الحلقات وعدم الضغط عليها بشدة حتى لا تحترق وتؤثر على العامود أو جلب العامود.
٥- عند بداية التشغيل يجب أن تكون إدارة المضخة بسهولة ونعومة بحيث لا تؤثر على الحشوة وفى حالة وجود تسريب يراعى الربط ببطيء مع الأخذ فى الاعتبار وجود سريان طفيف من صندوق الحشو وذلك للتزييت والتبريد.
٦- يراعى تغيير الحشوة وجميع ملحقاتها فى حالة وجود تسريب كبير يصعب التحكم فيه.
٧- فى حالة ترك المضخة بدون عمل لفترة طويلة يجب إزالة الحشوة من صندوق الحشو.

١-١٠-٦-٨ الحواكم الميكانيكية

١- تزود المضخات بحواكم ميكانيكية فى حالة عدم الرغبة فى تسريب السائل من صندوق الحشو أو عند إستعمال سوائل غالية الثمن أو السوائل التى تكون مصدرا للخطر. وتتكون الحواكم الميكانيكية من عضو دوار وعضو ثابت ، ويراعى إختيار الحواكم من مادة ذات معامل احتكاك منخفض ومقاومة عالية للتآكل وعلى درجة عالية من التشطيب.
٢- الخلوص بين أسطح الحواكم عند التشغيل يحتوى على طبقة رقيقة من السائل بالإضافة إلى أنه يجب أن يكون هناك تحميل مرن على الحواكم ولذلك تستخدم سوستة أو عدة سوست بالإضافة إلى حشو العامود أو من خلال عضو مرن من مادة عضوية.
٣- الحواكم الميكانيكية تصنع بتصميمات مختلفة ولذلك يجب دراسة تركيب الحواكم بعناية واتباع التوجيهات والتعليمات الفنية بكل دقة ويراعى إستخدام الأجهزة اللازمة للضبط والأحكام لكى تتلاءم مع التصميمات وظروف التركيب.

٤- عندما تزود المضخه بحواكم ميكانيكية فإنه يجب أن تترك كما هى دون تغيير إلا فى حالة الربط عند وجود تسريب فى بداية التشغيل فقط على أن تعمل الحواكم دون الاهتمام بالتسريب الطفيف.

١-١١ إختبار المضخات

١-١١-١ الهدف من الإختبار

الهدف من هذا الفصل هو تجميع وصياغة القواعد التى تتبع عند إختبار المضخات لتحديد الرفع الكلى والتصرف والقدرة على عمود الإدارة والكفاءة ومتطلبات السحب للمضخه والتى يعبر عنها بكلمة الأداء وذلك عند ظروف معينة.

١-١١-٢ بنود الإختبارات و الفحص

يجب أن يشمل الفحص والإختبارات على البنود الآتية :

١- الرفع الكلى للمضخه.
٢- عدد لفات الدوران.
٣- التصرف.
٤- القدرة على عمود الإدارة.
٥- كفاءة المضخه.
٦- ظروف التشغيل الهيدروليكى.
٧- نقطة أعلى رفع كلى على منحنى التصرف (الرفع الكلى فى حالة عدم السريان) - نقطة أعلى تصرف على منحنى الرفع والتصرف - حدود التشغيل - ظروف السحب.

مع ملاحظة أن البند رقم (٧) يشترط أن يتم إجراؤه فى حالة الطلب.

١-١١-٣ شروط الإختبار

أ- سائل الإختبار

١- إختبار المضخات يجب أن يتم بإستخدام ماء نظيف عند درجة الحرارة العادية والتى يمكن توصيفها بأنها فى حدود من صفر إلى ٤٠ درجة مئوية مع اعتبار أن الوزن لوحدة الحجم للماء عند درجة الحرارة العادية (1 N/L) والكثافة (10^3 Kg/m^3).
٢- فى حالة إستخدام ماء نظيف عند درجة حرارة أكثر من ٤٠ درجة مئوية أو سائل أخر وزنه النوعى يختلف عن الوزن النوعى للماء النظيف عند درجة الحرارة العادية فإن نتائج الإختبار يجب تعديلها بإستخدام الصيغة الموجودة فى البند (١-١١-٧).
٣- فى حالة سائل ذو لزوجة عالية أو عندما يحتوى السائل على أجزاء صلبة فإنه يجب أن تكون هناك موافقة مسبقة على إعادة تقييم النتائج التى تم الحصول عليها بإستخدام ماء نظيف.

ب- إختبار سرعة الدوران للمضخه

١- عموما يجب أن تتفق سرعة الدوران عند الإختبار مع سرعة الدوران المنصوص عليها فى التعاقد.
٢- إذا تعذر إختبار المضخه عند سرعة الدوران المطلوبة فيمكن إجراء الإختبار بسرعة أخرى للمضخه فى حدود ± ٢٠ % وإستخدام نسب التحويل.

٣- عندما تدار المضخه بواسطة محرك كهربى فإن سرعة الدوران التى نحصل عليها من دوران المضخه عند نقطة التشغيل المحددة وعند ظروف المنبع الكهربى العادى (تردد - جهد) يجب اعتبارها سرعة الدوران التى توصف بها المضخه.
٤- فى حالة المضخات التى تدار بمحركات ذات قدرات عالية والتى يتعذر إختبارها عند سرعة الدوران المشار إليها فى البند (٢) بعالية فيمكن فى حالة موافقة الطرفين المتعاقدين تخفيض السرعة بنسبة ٣٥ % وإجراء الإختبار وإستخدام نسب التحويل.

ج- نقط القياس

١- فى حالة مضخات الطرد المركزى يجب ألا تقل نقط القياس عن خمسة نقط لمعدلات تصرف مختلفة تبدأ من حالة عدم السريان إلى أقصى سريان بقدر الإمكان وبشرط أن يكون هناك نقطة من الخمس نقاط على الأقل عند رفع أقل من الرفع الذى تم توصيفه للمضخه.
٢- فى حالة المضخات ذات السريان المختلط يجب ألا تقل نقط القياس عن خمس نقاط لمعدلات تصرف مختلفة تتدرج فى الزيادة بقدر الإمكان بشرط أن يقع الرفع الكلى الذى تم توصيفه فى حدود هذه التصرفات.
٣- فى حالة المضخات المحورية يجب ألا تقل نقاط القياس عن خمسة نقاط لمعدلات تصرف مختلفة تبدأ فى حالة الفتح الكامل وتنتهى عند أصغر قيمة ممكنة للتصرف بقدر الإمكان وبشرط أن يكون هناك قيمة لمعدل التصرف عند رفع أكبر من الرفع الذى تم توصيفه.

د- أجهزة الإختبار

يجب تزويد أجهزة الإختبار بإمكانيات كافية تساعد على عملية الإختبار وتقييم أداء المضخه. والأشكال (١-٣٨) ، (١-٣٩) ، (١-٤٠) توضح مجموعة من أجهزة الإختبار.

عند تحديد رفع السحب أو الرفع الموجب الكلى الصافى (NPSH) لظروف التشغيل ، خاصة عندما يكون مطلوبا إجراء الإختبار تحت ظروف متماثلة ، فإنه عند التصرف المطلوب يجب تركيب المضخه بحيث تحقق رفع السحب المحدد (NPSH) أو يجب تركيب وسيلة للتحكم فى رفع السحب بناء على ما يلى :
١- إستخدام صمام خانق أو مضخه تعزيز جهة السحب وأيضا جهاز تعديل السريان ، والذى يجب أن يوضع فى الماسورة جهة السحب للمضخه ويختبر لكى يحمى المضخه من تأثير السريان المنحرف ، أو خط المواسير جهة السحب يكون طويلا بما فيه الكفاية. مع الأخذ فى الاعتبار أن درجة حرارة الماء لا تتغير عند أجراء الإختبار فى مسار مغلق بإستخدام خزان.
٢- فى حالة ما إذا كان رفع السحب لا يزيد عن الضغط الجوى ، فأنه يجب وضع صمام خنق كما هو موضح بالشكل رقم (١-٤١- أ) أو خزان تفريغ كما هو موضح بالشكل رقم (١-٤١- ب) جهة السحب وأيضا عندما يكون الرفع جهة السحب لأجهزة الإختبار أعلى من الرفع جهة السحب والذى تم توصيفه فأنه ربما يتم تركيب مضخه تعزيز جهة السحب لكى تقوم بتنظيم رفع السحب كما هو موضح بالشكل (١-٤٢). وعندما يكون هناك امتصاص للهواء من خلال محبس الخنق أو علبة الحشو ، فإنه يجب أن يغمر صمام الخنق فى السائل أو يتم تزويد علبة الحشو بمانع تسريب.
٣- فى حالة ما إذا كان ضغط السحب لا يقل عن الضغط الجوى فإنه يجب وضع مضخه تعزيز أو خزان ضغط كما هو موضح بالشكل رقم (١-٤٢) جهة السحب. ويمكن حساب رفع السحب من العلاقة :

$$NPSH = (1 / \gamma)\ (P_a - P_v) + h_s + V_s^2 / 2g \qquad (1\text{-}31)$$

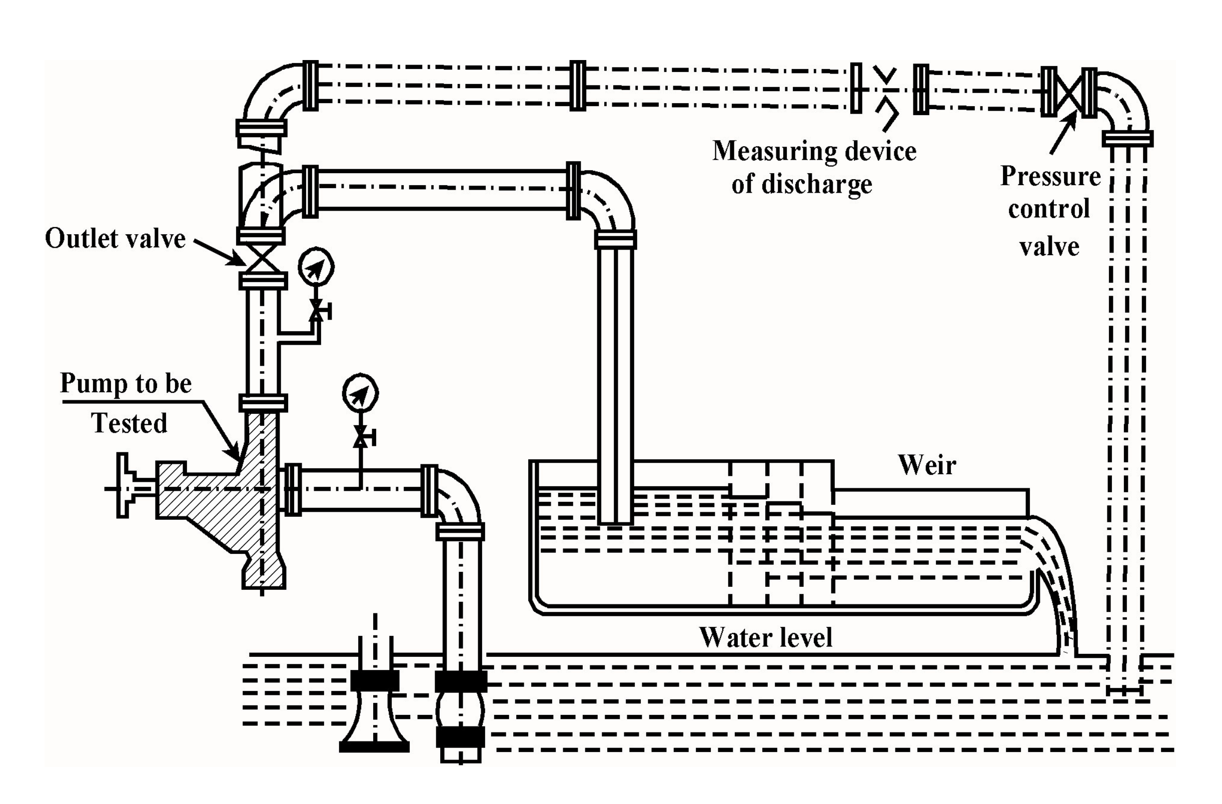
حيث

P_a = الضغط الجوى (N/cm^2)
P_v = ضغط بخار التشبع لسائل الإختبار (N/cm^2)
γ = الوزن لوحدة الحجم للسائل (N/cm^3)
h_s = ضاغط السحب (ارتفاع عمود السائل) (m)
V_s = السرعة المتوسطة للسريان عند نقط قياس ضغط السحب (m/s)
g = عجلة الجاذبية ($9.81\ m/sec^2$)

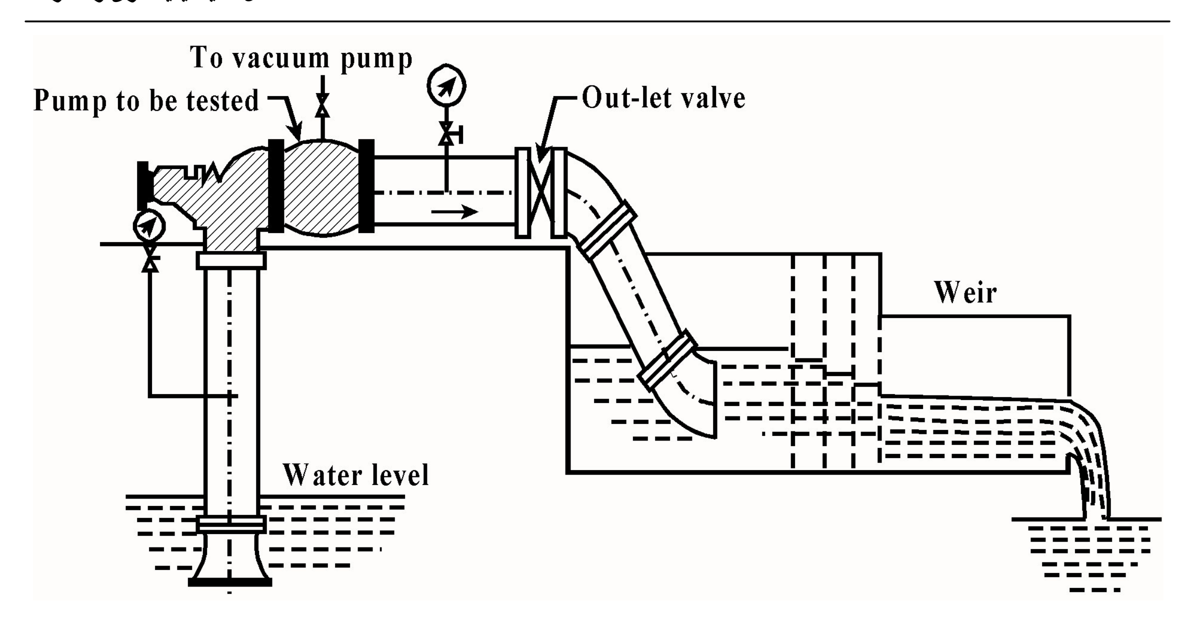
مع ملاحظة أنه فى حالة الإختبار عند سرعة دوران n_1 تختلف عن سرعة الدوران التى تم توصيفها ، فإن (NPSH) عند سرعة الدوران n التى تم توصيفها يتم الحصول عليها

$$NPSH = (NPSH)_1\ (n/n_1)^2 \qquad (1\text{-}32)$$

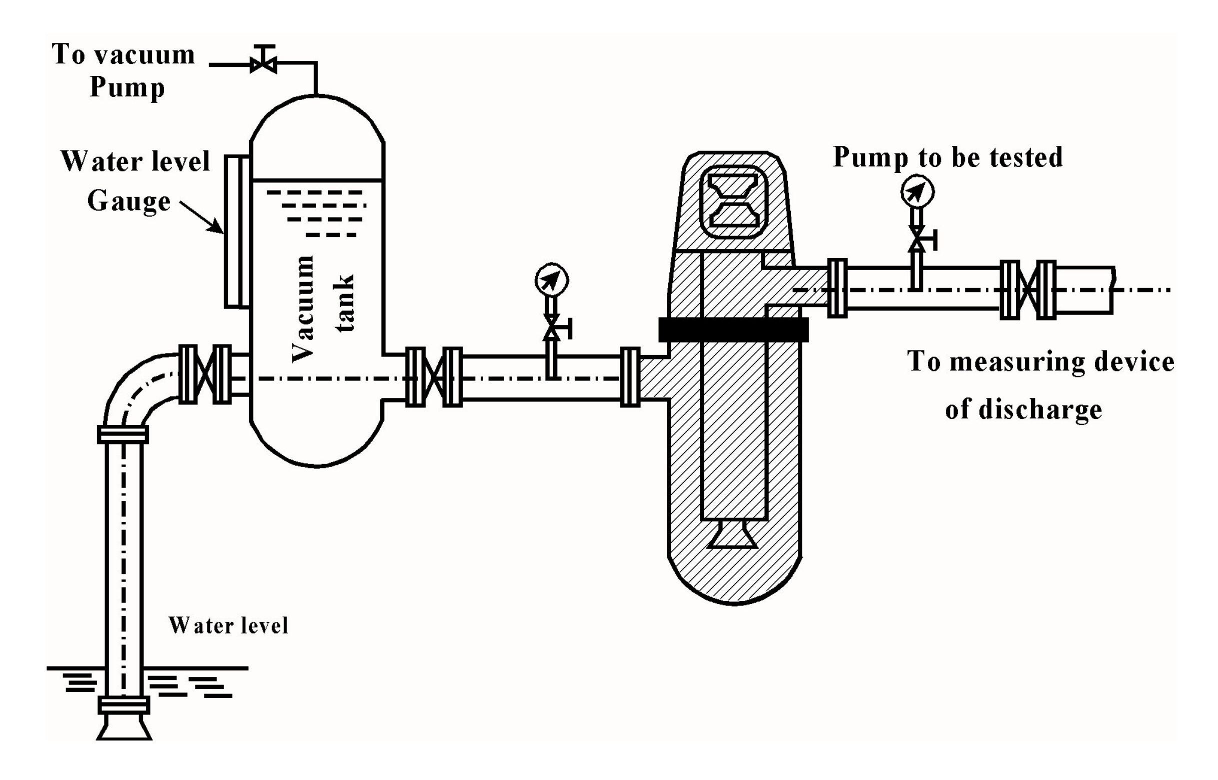
حيث
n = عدد لفات المضخه التى تم توصيفها
n_1 = عدد لفات المضخه عند الإختبار
$(NPSH)_1$ = رفع السحب عند الإختبار



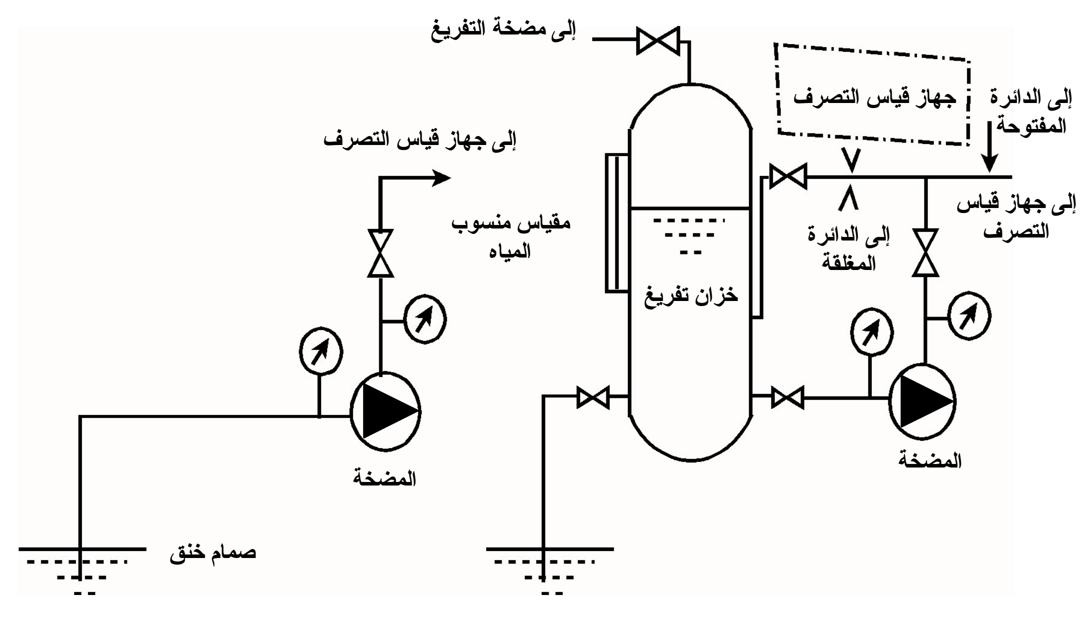
شكل (١-٣٨)



شكل (١-٣٩)



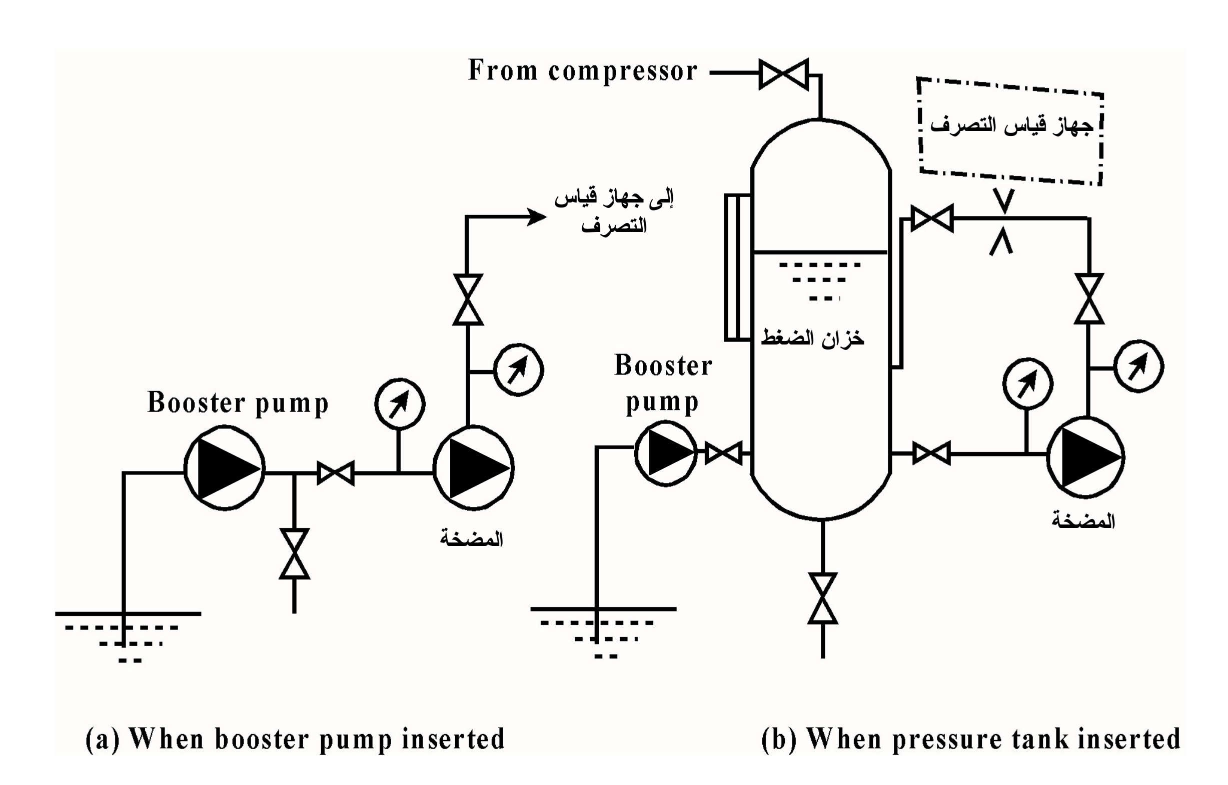
شكل (١-٤٠)



(أ) عند إستخدام صمام خنق

(ب) عند إستخدام خزان تفريغ

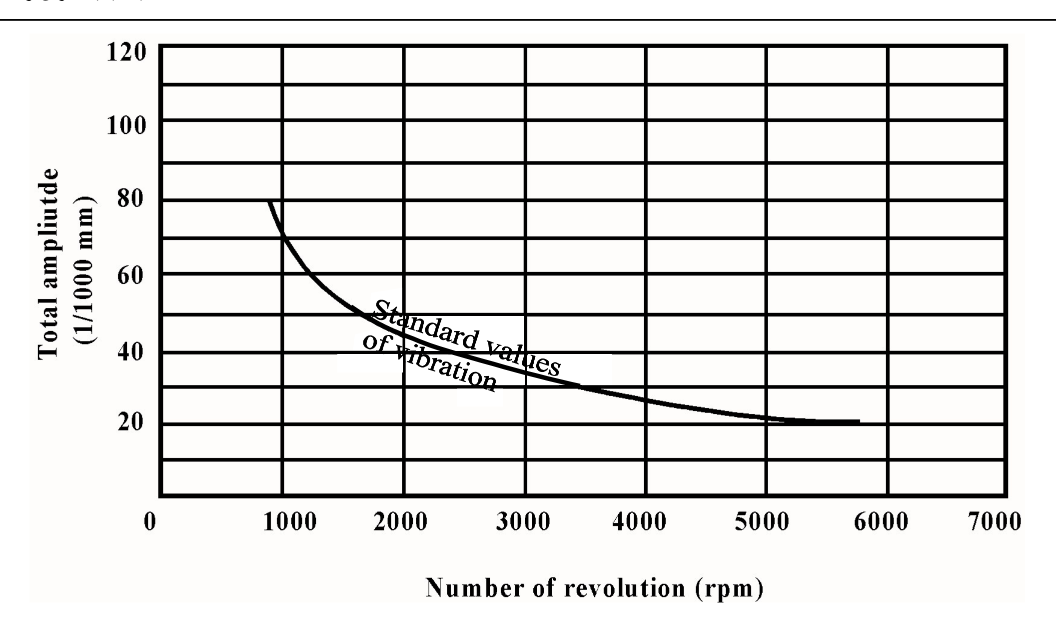
شكل (١-٤١)



(a) When booster pump inserted

(b) When pressure tank inserted

شكل (١-٤٢)



شكل (١-٤٣)

١-١١-٤ طريقة الإختبار

يجب إختبار المضخه عند عدد لفات الإختبار مع تغيير الضاغط الكلى للمضخه والتصرف عن طريق محبس تحكم جهة الطرد.

١-١١-٤-١ الضاغط الكلى للمضخه

أجهزة القياس المستخدمة لقياس الرفع هي:

١- مقياس أنبوبة بوردن.
٢- مقياس عمود السائل.
٣- مقياس عمود الزئبق على شكل حرف u
٤- عدادات الرفع الأخرى أو مجسات الرفع.

مع ملاحظة أن الوزن النسبى للزئبق عند درجة حرارة من صفر - ٤٠ درجة مئوية هو ١٣,٥٥ ويلاحظ ما يلى :

أ- يراعى إختيار جهاز قياس الرفع لكى يتناسب مع حدود القياس ويشترط أن لا يتعدى الخطأ فى قياس الرفع عن ١ % .

ب- فى حالة القياس بارتفاع عمود السائل يراعى إختيار السائل المناسب. مع ملاحظة أنه يجب معايرة العدادات ومجسات الرفع من فترة إلى أخرى.

ج- قراءات القياس للمضخه يجب أن تكون (فى حدود من ٣/١ إلى ٣/٢ من مدى التدريج)

وبإستخدام أحد الأجهزة السابقة يتم أخذ القراءات وتحويلها إلى ضغط بإستخدام التحويل المناسب مع مراعاة ما يلى :

أ- استنزاف أى هواء داخل منظومة القياس للحصول على قراءات صحيحة.

ب- تجهيز نقط قياس الرفع بتركيب ماسورة عند كل من مدخل المضخه ومخرجها وبطول لا يقل عن ٤ أمثال القطر وتكون نقطتى القياس على المخرج والمدخل على مسافة ضعف قطر الماسورة مقاسه من فلانشة الربط جهة المضخه.
ج- يراعى أن يكون ثقب القياس بالماسورة دائريا وعمودى على محور الماسورة.
د- يتراوح قطر ثقب القياس من ٢ - ٦ مم وطول الثقب لا يقل عن ضعف قطره.
هـ- إذا تعذر تجهيز نقاط القياس كما ذكر بعاليه فيمكن الاتفاق بين الطرفين على تسجيل قياسات الرفع جهة السحب والطرد على فلانشة السحب والطرد أو أخذ القراءات بالقرب منها.

فى حالة قياس قيمة الرفع لكل من السحب والطرد - فإنه يمكن حساب الضاغط (الرفع) الكلى من المعادلة الآتية :

$$H = h_d - h_s + (V_d^2 - V_s^2)/2g \qquad (1\text{-}33)$$

وذلك عندما يكون عداد قياس الضغط جهة السحب فى نفس مستوى عداد قياس الضغط جهة الطرد. أما فى حالة وجود فرق بين منسوبى عدادى قياس الرفع جهة السحب والطرد (Z) فإنه يتم إضافته إلى المعادلة السابقة (١-٣٣).

$$H = h_d - h_s + (V_d^2 - V_s^2)/2g + Z \qquad (1\text{-}34)$$

وفى حالة تساوى قطرى ماسورة السحب والطرد ووجود عدادى القياس على نفس المستوى فإن الرفع الكلى يتم حسابه من المعادلة الآتية :

$$H = h_d - h_s \qquad (1\text{-}35)$$

فى حالة المضخات المحورية يتم حساب الرفع الكلى كالأتى :

$$H = h + h_d + V_d^2 /2g \qquad (1\text{-}36)$$

حيث
H – الرفع الكلى بالمتر
h_s – الرفع جهة السحب بالمتر
h_d – الرفع جهة الطرد بالمتر
h – المسافة بين محور فتحة ماسورة طرد المضخه ومنسوب السحب
V_s , V_d – السرعة المتوسطة فى ماسورتى الطرد والسحب
g – عجلة الجاذبية

فى حالة وجود مسافة بين عدادات قياس الرفع للطرد والسحب يتم إضافتها للمعادلة (١-٣٣) ، (١-٣٤) .

ويتم حساب مفاقيد الاحتكاك فى ماسورتى السحب والطرد بالعلاقة الآتية :

$$h_1 = \lambda \; (L/d) \; (V^2 /2g) \qquad (1\text{-}37)$$

وفى حالة زيادة مفاقيد الاحتكاك فى ماسورتى السحب والطرد عن ٠,٠٥ % من الضاغط الكلى المحسوب يجب إضافتها إلى الضاغط الكلى فى المعادلات (١-٣٣) ، (١-٣٤) .

حيث
λ - معامل الاحتكاك
d – قطر الماسورة
V – سرعة الانسياب (متر / ث)

١-١١-٤-٢ التصرف
هو حجم السائل الذى يمر خلال مقطع ماسورة الطرد فى وحدة الزمن. وعند حساب التصرف لا يؤخذ فى الاعتبار كمية السائل المستخدم للتبريد أو الذى يتسرب بين الوصلات.

١-١١-٤-٣ سرعة الدوران
يجب قياس سرعة دوران عامود المضخه بواسطة الأجهزة الدقيقة وبدقة قياس تصل إلى ٠,٥ % ويتم أخذ القراءات أكثر من مرة ثم يؤخذ المتوسط. ويعبر عن سرعة الدوران بعدد اللفات فى الدقيقة.

١-١١-٤-٤ القدرة على عامود إدارة المضخه
قدرة عمود الإدارة تعنى الطاقة اللازمة لإدارة عمود المضخه ويتم التعبير عنها عموما بوحدة الكيلووات (KW) وتقاس بإستخدام محرك كهربى معلوم الخصائص أو بإستخدام جهاز(Dynamometer) الدينامو ميتر.

١-١١-٤-٥ ظروف السحب
يجب إختبار ظروف السحب للمضخه عند التصرف المناظر للرفع الكلى المحدد لها والإختبارات تستهدف استكشاف وجود انخفاض فى الرفع الكلى والضوضاء التى تدل على وجود تكهف. وفى حالة النص على تحديد (NPSH) رفع السحب الموجب الصافى المطلوب ، فإنه يتحدد بالقيمة التى ينخفض عندها بمقدار ٣ % من رفع التشغيل العادي.

١-١١-٤-٦ ظروف التشغيل

١- الاهتزازات والضوضاء
يجب اختبار المضخه عند ظروف التشغيل لتقدير الاهتزازات ومطابقتها للقيم القياسية. مع ملاحظة أن الحد الأقصى المسموح به (80 dB) عند سرعة دوران حتى ١٠٠٠ لفة / دقيقة.

وشكل رقم (١-٤٣) يوضح القيم المسموح بها للاهتزازات فى المضخات فى حالة الإستخدام العادى والقيم الموضحة قيم تطبيقية للمضخات الطاردة المركزية والمحورية والمضخات ذات السريان المختلط.

أ- يشترط فى حالة عامود المضخه الأفقى أخذ القياسات فى مركز الكرسي.
ب- يشترط فى حالة عامود المضخه الرأسى أخذ القياسات فى مركز الكرسى العلوى للمحرك.
ج- يجب مراعاة تثبيت المضخه عند الإختبار حسب ظروف تركيبها فى الطبيعة. مع ملاحظة أن الاهتزازات تتغير قيمتها نتيجة ظروف التركيب. وأنه فى حالة إستخدام محبس تحكم مباشرة على مخرج المضخه فإن الاهتزازات التى تنشأ نتيجة المحبس تؤثر على المضخه.

٢- درجة حرارة الكراسى

يجب قياس درجة حرارة الكراسى أثناء الإختبار والارتفاع فى درجة الحرارة. ودرجة الحرارة القصوى تبعا لظروف التشغيل ولنوع الكرسي. على ألا يتعدى الحدود المبينة بالجدول رقم (١-١٦).

جدول (١-١٦) الزيادة فى درجة الحرارة المسموح بها وأقصى درجة حرارة مسموح بها للكراسى

نوع التبريد المستخدم	الزيادة فى درجة الحرارة المسموح بها (عند درجة حرارة محيطة لا تزيد عن ٤٠ درجة مئوية)		أقصى درجة حرارة مسموح بها		
	على سطح الكرسى	عند إستخدام مجس معدنى لقياس درجة الحرارة	على سطح الكرسى	عند إستخدام مجس معدنى لقياس درجة الحرارة	درجة حرارة زيت العادم
تبريد طبيعى بإستخدام زيت عادي	٤٠	٤٥	٧٥	٨٠	-
تبريد طبيعى بإستخدام زيت مقاوم للحرارة	٥٥	٦٠	٩٠	٩٥	-
تبريد مياه	-	حسب الاتفاق	-	٨٠	-
تبريد جبرى بإستخدام زيت عادى	-	-	٧٥	٨٠	٨٠

١-١١-٥ إختبار أداء المضخه بإستخدام نموذج

يستخدم النموذج فى الحالات الآتية :

١- عندما يكون من الصعب مواصلة إجراء إختبار الأداء نظرا لكبر التصرف المطلوب أو لإرتفاع القدرة اللازمة لإختبار المضخه.

٢- عندما يكون من الصعب تجميع المضخه لإجراء الإختبار عليها مثل بعض الحالات التى يكون فيها بعض أجزاء المضخه مخلقة فى الإنشاءات الخرسانية.

١-١١-٦ التحويلات فى حالات إختلاف سرعة الدوران واختلاف الوزن النوعى

١- فى حالة تغيير سرعة الدوران

عندما يتم الإختبار على مضخه عند سرعة دوران مختلفة عن سرعة الدوران التى تم توصيفها للمضخه ، فإن نتائج الإختبار يجب تحويلها بإستخدام العلاقات الآتية :

$$Q = Q_i\,(n/n_i)$$
$$H = H_i\,(n/n_i)^2 \qquad (1\text{-}38)$$
$$S.H.P = (S.H.P.)_i \times (n/n_i)^3$$
$$NPSH = (NPSH)_i \times (n/n_i)^2$$

حيث
i – ترمز إلى القيم التى تم عندها الإختبار
Q – الرفع الكلى
n – سرعة الدوران التى تم توصيفها
n_i - سرعة الدوران عند الإختبار
NPSH - رفع السحب الموجب الصافى
S.H.P – القدرة على عامود الإدارة

ملحوظة
فى حالة إدارة المضخه بمحرك كهربى (إستنتاجى ثلاثى الأوجه) فإن الانزلاق للمحرك نتيجة تغيير الحمل يؤدى إلى تغيير سرعة الدوران ولذلك فإن تحويل سرعة دوران المحرك عند كل حمل مطلوب يمكن الحصول علية نتيجة ضرب سرعة الدوران عند الإختبار عند حمل معين فى النسبة بين سرعة الدوران التى تم توصيفها إلى سرعة الدوران عند الإختبار.

٢- فى حالة اختلاف الوزن النوعى
فى حالة إستخدام ماء نظيف ودرجة حرارة تزيد عن ٤٠ درجة مئوية أو عندما يكون الوزن النوعى مختلف عنه فى حالة إستخدام ماء نظيف عند درجة الحرارة العادية فإن نتائج الإختبار بإستخدام سائل الإختبار (ماء نظيف عند درجة الحرارة العادية) يجب أن تحول بإستخدام العلاقات الآتية :

$$Q = Q_i$$
$$H = H_i \, (\rho/\rho_i) \qquad (1\text{-}39)$$
$$S.H.P = (S.H.P)_i * (\rho/\rho_i)$$

حيث i ترمز إلى القيم عند إجراء التجارب

١-١١-٧ جدول نتائج الإختبار
يجب أن يحتوى جدول نتائج الإختبار على القيم المقاسة عند سرعة الدوران والسائل المستخدم. عندما تكون سرعة دوران الإختبار أو سائل الإختبار مختلفة عن سرعة الدوران التى تم توصيفها أو السائل الذى تم توصيفه فإنه يجب توضيح قيم التحويل الموجودة بالبند (١-١١-٧) بالجدول كما يجب أن يشتمل الجدول على الآتى :
الحجم - النوع - أسم المنتج - رقم الإنتاج - رقم الإختبار - أسم المستهلك - توصيف بنود المضخه - بيانات الإختبار - أسم القائم بالإختبار - طرق قياس التصرف وكذلك يجب ذكر بيانات المحرك المستخدم وعناصر نظام التحويل بكل وضوح.

وبناء على القيم المحولة يتم رسم منحنى الأداء بتمثيل قيم التصرف على المحور الأفقى وقيم الرفع الكلى وقدرة عامود الإدارة والكفاءة على المحور الرأسى وبتوقيع هذه النقاط يتم توصيف المنحنى وبذلك يتم رسم منحنيات الأداء.

١-١١-٨ تحليل نتائج الإختبار

١- الرفع الكلى والتصرف

يجب تحديد الرفع الكلى والتصرف على منحنى الأداء مع تحديد نقطة التشغيل فى الحالتين الآتيتين :

١- إذا كان الغرض من إستخدام المضخه الإستعمال العام. فإن معدل التصرف المناظر للرفع الكلى المحدد يجب أن يساوى معدل التصرف المحدد أو يكون أكبر منه.

٢- عندما يكون المدى المتاح للرفع الكلى ومعدل التصرف للإستعمال الخاص. فإن منحنى الرفع الكلى ومعدل التصرف للقيم المتاحة لنقطة التشغيل يجب أن يحقق الأمرين الآتيين :

أ- معدل التصرف بالنسبة للرفع الكلى المحدد يجب أن يقع بين ٩٥ % إلى ١٠٥ % لقيم معدل التصرف المحددة.

ب- الرفع الكلى بالنسبة للتصرف المحدد يجب أن يقع بين ٩٧ % إلى ١٠٦ % لقيم الرفع الكلى المحدد.

٢- قدرة عامود الإدارة

١- يجب أن لا يزيد قدرة عمود الإدارة عن قدرة عمود الإدارة المنصوص عليها فى حدود مدى التشغيل وذلك فى حالة النص على مدى التشغيل.

٢- يجب أن لا تزيد قدرة عمود الإدارة عن قدرة عمود الإدارة المناظرة للتصرف والناتجة عن نقطة تقاطع منحنى الرفع والتصرف مع منحنى المنظومة وذلك فى حالة تحديد منحنى المنظومة.

٣- يجب أن لا تزيد قدرة عمود الإدارة عند التصرف المنصوص عليه عن قدرة عمود الإدارة المناظر للرفع الكلى المنصوص علية فى حالة إمكانية تمييز منحنى المنظومة.

يوقع منحنى المنظومة بتجميع المفاقيد ورفع السرعة إلى المنسوب الفعلى المقاس من منسوب السحب على منحنى الأداء عند عمل المضخه عند ظروف التركيب. كما يلاحظ أنه يجب ألا تؤدى المفاقيد الضرورية إلى حالة عدم أتزان أداء المضخه.

٣- كفاءة المضخه

كفاءة المضخه عند سرعة الدوران والرفع الكلى المنصوص عليهما يمكن الحصول عليها من الصيغة الآتية :

$$\eta = W.P/S.H.P \qquad (1\text{-}40)$$

$$W.P = \frac{\rho \text{ x g x Q x H}}{102} \qquad (1\text{-}41)$$

حيث ρ x g الوزن النوعى (N/m^3)

Q – التصرف (m^3/s)

η - كفاءة المضخه

S.H.P القدرة على عمود الإدارة (كيلووات)

H – الضاغط الكلى (m)

ملاحظة

عندما تكون قيمة كفاءة المضخه أقل من القيمة المتعاقد عليها فإن القيمة المسموح بها يجب أن لا تزيد عن η_n % (٥%) من الكفاءه الكليه.

حيث

η_n – قيمة الكفاءة المتعاقد عليها مع عدم الإخلال بشروط التعاقد

٤ـ أقصى رفع كلى (عند انعدام التصرف)

- يجب أن يكون أعلى من الرفع الكلى عند نقطة التشغيل.
- فى حالة عدم معرفة الرفع الكلى الحقيقى أو فى حالة المضخات التى تعمل على التوازى فإن الرفع الكلى عند حالة انعدام التصرف يجب أن يكون أعلى من الرفع الكلى للمضخه الذى تم توصيفه.
- وفى حالة الرغبة فى ضمان قيمة السريان عند أقصى رفع كلى يجب النص عليها من الطرفين.

٥ـ التصرف عند نقطة أعلى رفع كلى

التصرف المناظر لأعلى نقطة على منحنى التصرف والرفع الكلى سيكون أقل من التصرف المنصوص عليه بالمواصفات.

٦ـ حدود التشغيل

يجب تحديد القيم المسموح بها لأداء الخدمة عند اختلافها عن نقطة التشغيل بناء على الاتفاق المسبق بين الطرفين.

٧ـ ظروف السحب

يجب إختبار ظروف السحب تبعا للبند (١-١١-٤-٥) ويجب أن لا يكون هناك هبوط فى الرفع أو وجود ضوضاء نتيجة لوجود ظاهرة التكهف.

٨ـ الضغط الهيدروليكى

فى إختبار الضغط الهيدروليكى عامة يجب وضع المضخة تحت ضغط يساوى مرة ونصف من أقصى ضغط للمضخه ولمدة لا تقل عن ٣ دقائق. على أن لا يحدث تسريب فى المضخه أو خلافه. أقل ضغط هيدروليكى يمكن إختبار المضخه عندة هو 1.5 بار.

٩ـ طرق قياس التصرف

أ- إستخدام الأجهزة التقليدية مثل جهاز الفنشورى فى عمليات معايرة أجهزة قياس التصرف.

ب- إستخدام الأجهزة الحديثة مثل جهاز قياس التصرف المغناطيسى (Magnetic Flowmeter) .

ج- إستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Flowmeter) .

مع ضرورة أن تكون دقة الجهاز فى حدود ±٣ % . ويتم تغيير التصرف من خلال محبس سكينة. كما تؤخذ القراءات بعد ٣ دقائق على الأقل من تغيير وضع المحبس. وبحيث تؤخذ أكثر من قراءة ثم يؤخذ المتوسط. ويراعى طريقة التركيب لأجهزة قياس التصرف والالتزام بما جاء بمواصفات التركيب ودقة القياس.

الباب الثانى
محركات الاحتراق الداخلى

تختلف قدرة محركات الاحتراق الداخلى حيث تبدأ من بضعة كيلووات إلى بضعة آلاف منها. وبشكل عام تصنف محركات الاحتراق الداخلى حسب عدة معايير أساسية أهمها :

أ- نظرية الاحتراق التى يتبعها المحرك فى دورته الحرارية.
ب- عدد الأشواط التى يتم فيها المحرك دورته.
ج- أسلوب تبريد المحرك.

ويمكن أن يتم الإحتراق داخل المحرك بواسطة مؤثر خارجى كما فى محركات الإشعال بالشرر المعروفة بإسم "محرك البنزين" نسبة إلى نوع الوقود المستخدم. والشائع أن تتم الدورة داخل وحدة ترددية. وإن كان ليس هناك ما يمنع أن تتم هذه الدورة فى وحدة ذات قلب دوار (محرك فانكل) . أما محركات الإشعال بالضغط والمعروفة بمحركات الديزل فإنها لا تحتاج لوسيط خارجى لبدء إشعال الوقود حيث يتم إشعال الوقود بها ذاتيا. وتتم دورتها دائما فى وحدات ترددية نظرا لحاجة أسلوب الحريق بها لضغوط مرتفعة نسبيا لا تتيحها المحركات ذات القلوب الدوارة.

يمكن أن تتم الدورة الحرارية لمحرك الإحتراق الداخلى فى أربعة أشواط أحدها شوط القدرة فيعرف المحرك أنه رباعى الأشواط. أو أن تتم الدورة فى شوطين أثنين فقط أحدها شوط القدرة فيعرف المحرك بأنه ثنائى الأشواط. وتصنع المحركات سواء كانت بنزين أو ديزل كمحركات رباعية أو ثنائية الأشواط. وتمتاز المحركات الثنائية بإرتفاع القدرة النوعية لها لنفس السعة الحجمية وتبلغ هذه القدرة عمليا حوالى ١,٣. ويفضل تصميم محركات الإحتراق الداخلى ثنائية الأشواط بنزين إذا كانت القدرة المطلوبة صغيرة نسبيا.

حينما يتطلب التطبيق الهندسى قدرات عالية (بضعة آلاف من الكيلووات) يفضل تصميم المحرك كمحرك ثنائى ديزل.

تحتاج محركات الإحتراق الداخلى لتبريد مستمر أثناء تشغيل المحرك ويستخدم لهذا الغرض نظام دورات تبريد يستعمل فيها الماء أو الهواء كوسيط تبريد.

٢-١ المصطلحات الفنية

هذه المصطلحات يتم تطبيقها على جميع أنواع المحركات الترددية الحركة بما فيها المحركات ثنائية الدورة وكذلك المحركات ذات المكابس الحرة. ويتم تقسيم هذه المصطلحات كما يلى :

أولا : مصطلحات هندسة أشكال المحركات

١- نسبة الإنضغاط Compression Ratio

هى النسبة بين أكبر حجم للإسطوانة وذلك عندما يكون المكبس عند النهاية السفلى بما فيها حجم التجاويف الموجودة برأس الإسطوانة وبين أقل حجم للإسطوانة وذلك عندما يكون المكبس عند النهاية العليا.

٢- مساحة تصرف الصمامات أو البوابات (الفتحات) Valves or Ports Area

هى المساحة الكلية اللحظية وذلك عندما يفتح الصمام أو البوابة فتحة كاملة.

٣- توقيت الصمامات Valve Timing
يمثل الوضع الهندسى الذى يتم عنده بدء فتح أو غلق كل مجموعة صمامات السحب أو العادم وذلك بالنسبة إلى وضع المكبس استنادا إلى نهايته العليا أو السفلي.

٤- النقطة الميتة العليا (Top Dead Center (TDC
هو الوضع الهندسى الذى يتم عنه انعكاس لحركة المكبس بحيث يكون حجم الإسطوانة فى هذه الحالة عند القيمة الصغرى له.

٥- النقطة الميتة السفلى (Bottom Dead Center (BDC
هو الوضع الهندسى الذى يتم عنه انعكاس لحركة المكبس بحيث يكون حجم الإسطوانة فى هذه الحالة عند القيمة العظمى له.

٦- نسبة المساحة للحجم لغرف الاحتراق
Combustion Chamber Surface to Volume Ratio
هى نسبة المساحة السطحية الكلية لغرفة الإحتراق التى تكون ملامسة للهواء داخل الإسطوانة إلى حجم الغرفة الكلية وعندما يكون المكبس عند النهاية العليا له.

ثانيا مصطلحات الأداء

١- نسبة التسليم Delivery Ratio
هى النسبة بين كتلة الهواء الداخلة إلى المحرك عن طريق مجمع السحب إلى الحجم المزاح بواسطة المكبس مضروبا فى كثافة الهواء الجوى عند الظروف المحيطة بالمحرك من الضغط ودرجة الحرارة.

٢- نسبة تسليم الهواء إلى الوقود Delivered Air-Fuel Ratio
هى النسبة بين كتلة الهواء الداخلة إلى المحرك عن طريق مجمع السحب إلى كتلة الوقود التى يستهلكها المحرك من خزان الوقود.

٣- نسبة الهواء إلى الوقود المحتجزة Trapped Air-Fuel Ratio
تساوى النسبة بين كتلة الهواء المحتجزة داخل الإسطوانة مقسوما على كتلة الوقود الفعلية التى دخلت إلى إسطوانة المحرك.

٤- كفاءة الاحتجاز Trapping Efficiency
تمثل النسبة بين كتلة الهواء الفعلية التى يتم احتجازها داخل الإسطوانة إلى كتلة الهواء التى يتم تسليمها إلى الإسطوانة من مجمع السحب. هذه النسبة يتم اعتمادها فى المحركات ثنائية الدورة أكثر من اعتمادها فى المحركات الرباعية بسبب طول فترة التداخل وهى الفترة التى يكون فيها كلا بوابتى السحب والعادم مفتوحتين فى ذات الوقت.

٥- كفاءة الكسح Scavenging Efficiency

تساوى النسبة بين كتلة الشحنة النقية المحتجزة داخل الإسطوانة لأداء الدورة الحرارية والكتلة الكلية للشحنة داخل الإسطوانة بما فيها بقايا العادم من الدورات السابقة وتشير هذه النسبة إلى مدى جودة تصميم منظومات دخول وخروج الهواء والعادم من المحرك.

٦- درجة النقاء Purity

النسبة بين كتلة الهواء الفعلية داخل الإسطوانة إلى الكتلة الكلية للشحنة الموجودة داخل الإسطوانة والتى تشتمل على الهواء والوقود ونواتج غازات الإحتراق من الدورات السابقة.

٧- الشحنة النسبية Relative Charge

هى النسبة بين كتلة الشحنة الفعلية داخل الإسطوانة إلى الحجم المزاح بواسطة المكبس مضروبا فى كثافة الهواء عند ظروف الوسط المحيط من الضغط ودرجة الحرارة.

٨- كفاءة الشحن Charging Efficiency

نسبة كتلة الهواء المحتجزة داخل إسطوانة المحرك إلى الحجم المزاح بواسطة المكبس مضروبا فى كثافة الهواء عند الوسط المحيط للضغط ودرجة الحرارة.

٩- نسبة الهواء الزائد Excess Air Factor

هى النسبة بين كتلة الهواء إلى الوقود الفعلية داخل المحرك مقسومة على نسبة الهواء إلى الوقود الصحيحة كيميائيا.

١٠- القدرة الخارجة Output Power

تمثل قدرة المحرك ويعبر عنها بوحدة الحصان وهى تكافئ ٧٤٦ وات (نيوتن متر/ثانيه). كذلك يمكن أن يعبر عنها بوحدة الكيلووات وهى تكافئ ١٠٠٠ جول / ث .

١١- القدرة الإجمالية Gross Power

تمثل القدرة الخارجة لمحرك مجهزا تجهيزا أساسيا (يتم تعريف المحرك المجهز تجهيز أساسى فى بند رقم ١٩ اللاحق).

١٢- القدرة الصافية Net Power

هى القدرة الخارجة لمحرك مجهز تجهيزا كاملا (كما هو معرف فى بند ٢٠).

١٣- القدرة الفرملية Brake Power

هى القدرة المتاحة من المحرك عند عامود الإدارة والمجهز لإدارة أى حمل خارجى.

١٤- أقصى قدرة فرملية Maximum Brake Power

هى أقصى قدرة متاحة من المحرك عند عامود الإدارة وذلك عند سرعة دوران معينة وهذا يعنى أن لكل سرعة دوران قدرة فرملية قصوى.

١٥- القدرة الفرملية القصوى Peak Brake Power

هى أكبر قدرة فرملية يمكن الحصول عليها ضمن مدى سرعات المحرك.

١٦- القدرة الفرملية المقننة Rated Brake Power
وتمثل قدرة المحرك الفرملية المحددة بواسطة صانع المحرك وذلك عند إدارة المحرك لأحمال خارجية محددة وعند سرعات محددة.

١٧- القدرة الاحتكاكية Friction Power
هى القدرة المطلوبة لإدارة المحرك والتغلب على الاحتكاك الناشئ عن الحركة بين أجزائه الداخليه.

١٨- القدرة البيانية Indicated Power
هى القدرة المتولدة داخل إسطوانات المحرك الناتجة عن شغل الدورة الحرارية وهى مجموع القدرة الفرملية والاحتكاكية للمحرك.

١٩- محرك مجهز بتجهيز أساسى Basic Engine
المحرك المجهز بتجهيز أساسى هو المحرك المزود بجميع المعدات المركبة اللازمة لتشغيله والتى لا يستطيع المحرك أن يدور بدونها كأنظمة حقن الوقود وأنظمة الإشعال وكذلك طلمبات الزيت والوقود وطلمبات المياه المستخدمة فى التبريد أو مراوح التبريد فى محركات التبريد بالهواء.

٢٠- محرك مجهز بتجهيز كامل Fully Equipped Engine
المحرك المجهز بتجهيزا كاملا هو المحرك المزود بجميع المعدات اللازمة لجعله قادرا على إدارة أحمال خارجية بصورة مستمرة وبدون مساندة من أى وحدات خلافه لتوليد القدرة.

٢١- عطلة الاشتعال Delay Period
هى الفترة التى تمر ابتداء من حقن أول قطرة من الوقود داخل غرفة حريق محرك ديزل إلى بداية إرتفاع الضغط فى الغرفة نتيجة الحريق.

٢٢- الصفع Detonation
هو ظاهرة تظهر فى محركات الإشعال بالشرر وفيها تشتعل نهاية الغاز (الخليط) ذاتيا قبل وصول جبهة اللهب إليها. ويترتب على ذلك حدوث موجات تضاغط وتخلخل داخل غرفة الحريق للمحرك يصاحبها صدور صوت يحدث نتيجة إرتفاع درجة حرارة المحرك.

٢٣- الدق Knock
تحدث داخل غرف الإحتراق لمحركات الإشعال بالضغط ويحدث الدق فى بداية الحريق نتيجة تراكم كميات كبيرة من الوقود أثناء فترة عطلة الاشتعال للمحرك حيث أن هذه الكمية تشتعل فجأة وينتج عن اشتعالها إرتفاع مفاجئ للضغط.

٢-٢ تصنيف المحركات
عندما يراد إعداد مواصفات دقيقة لمحرك إحتراق داخلى ، يجب معرفة المعلومات التفصيلية عن نوع التطبيق الهندسى الذى يديره المحرك. كذلك يجب معرفة معلومات عن طبيعة البيئة المحيطة بالتطبيق وظروف التشغيل المختلفة للمحرك. وعموما تصنف المحركات طبقا لعدة معايير أساسية سنتناولها بالتفصيل فى البنود التالية.

١- التصنيف طبقا لترتيب إسطوانات المحرك

ترتب إسطوانات المحرك رأسيا أو أفقيا علـى خط واحد للمحركات الأقل مـن ثمانـى إسطوانات. أمـا المحركات ذات ثمانى إسطوانات وأكثر فيفضل أن ترتب فى صفين يشكلا سويا حرف V . ويمتاز هذا الترتيب بالحصول على سرعات وقدرات أعلى من المحركات المرتبة على خط واحد.

كذلك تسمح المحركات التـى على شكل حرف V باستعمال مجمعات سحب بشكل يجعل توزيع الشحنة منتظما لاسطوانات المحرك. وترتب الاسطوانات علـى شكل حرف W للمحركات ذات الأثنـى عشر اسطوانة أو أكثر. ويوضح شكل (٢-١) الأشكال المختلفة لترتيب الاسطوانات.

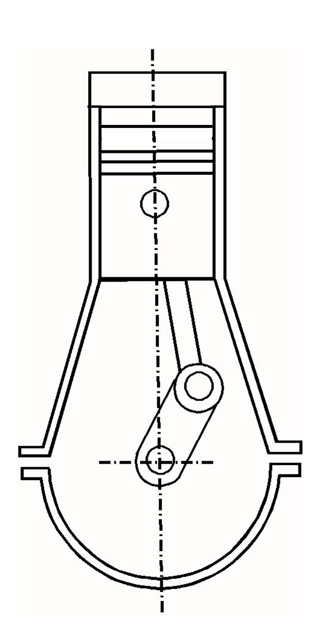
٢- التصنيف طبقا لموضع الصمامات

لسنوات عديدة كانت توضـع صمامات السحب والطرد على جانبى الإسطوانة وأستعمل لهذه الأنواع من المحركات عامود كامات لصمامات السحب وأخر لصمامات الطرد.

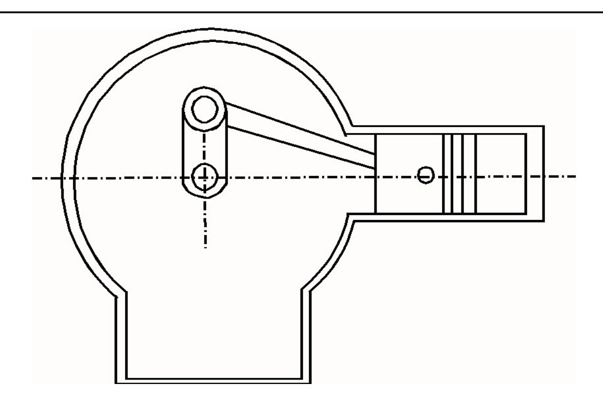
للمحـركات الحديـثة توضــع الصـمامات فـى رأس الإسـطوانة أعلـى غـرفة الحـريق حـيث يتـيح تصـميم محركات ذات نسب إنضـغاط مرتفعة فضـلا عن استخدام عامود كامات واحد لكل من صمامات السحب والطرد. وتعمل بعض المحركات بأكثر من صمام للسحب وأكثر من صمام للطرد لكل إسطوانه.

٣- التصنيف طبقا لنوع تبريد المحرك

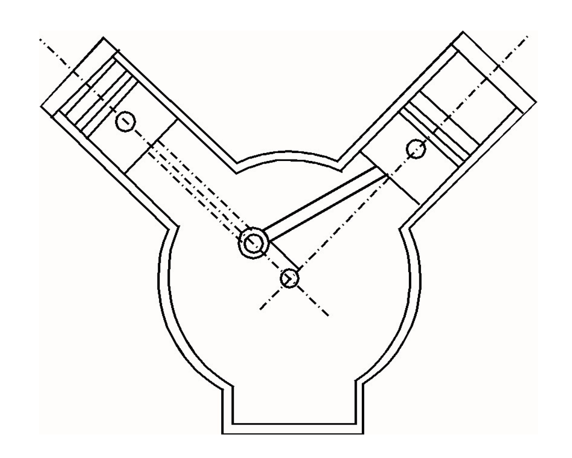
تبـرد محركات الإحتـراق الداخلـى أمـا بالهـواء أو الماء. ويفضل التبريد بالماء فى حالات المحركات ذات القدرات المرتفعة وللأجواء الحارة وللمحركات التـى تعمل فـى العنابـر المغلقة. ويستخدم تبـريد الهـواء للمحركات الصغيرة.



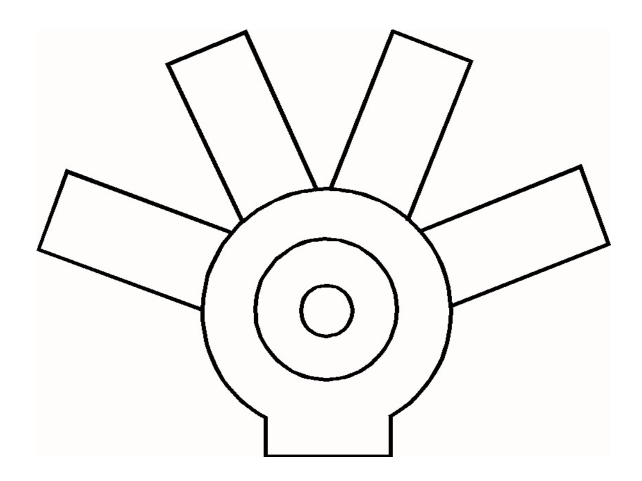
ترتيب الإسطوانات رأسيا على صف واحد



ترتيب الاسطوانات أفقيا على صف واحد



ترتيب الإسطوانات على شكل حرف V



ترتيب الإسطوانات على شكل حرف W

شكل (٢-١) الأساليب المختلفة لترتيب الإسطوانات

٤ـ التصنيف طبقا لعدد أشواط الدورة

يمكن أن تتم الدورة الحرارية لمحرك الإحتراق الداخلى فى أربعة أشواط أحدها شوط القدرة فيعرف المحرك أنه رباعى الأشواط. أو أن تتم الدورة فى شوطين أثنين فقط أحدها شوط القدرة فيعرف المحرك بأنه ثنائى الأشواط. وتصنع المحركات سواء كانت بنزين أو ديزل كمحركات رباعية أو ثنائية الأشواط.

٥ـ التصنيف طبقا للوقود المستخدم

تقسم المحركات إلى محركات أحادية الوقود وأخرى ثنائية الوقود. تعمل المحركات الأحادية بنوع واحد من الوقود وتقسم إلى محركات بنزين ومحركات ديزل "سولار". أما المحركات ذات الوقود المزدوج فإنها غالبا ما تستخدم وقود الديزل "سولار" بجانب الزيوت الثقيلة وغالبا ما يستخدم ذلك النوع فى محركات السفن كذا محركات تعمل بالغازات الطبيعية أو المساله.

٦ـ التصنيف طبقا لنظام الإشعال

تقسم المحركات طبقا لأسلوب الإشعال إلى محركات إشعال ذاتى ومحركات إشعال بالشراره ومحركات الإشعال الذاتى هى ما نطلق عليها محركات الإشعال بالضغط ويستخدم السولار أو الزيوت الثقيلة كوقود لهذا النوع من المحركات وتتم الدورة الحرارية لها طبقا لدورة ديزل الحرارية ، أما محركات الإشعال بالشرر فهى محركات بنزين كذلك بعض المحركات التى تستخدم الغازات الطبيعية أو المسالة وتتم الدورة الحرارية فيها طبقا لدورة أوتو الحرارية.

ويستعمل الإشعال بالشرر بشكل محدود جدا فى المحركات التى تستخدم وقود الديزل "السولار" وهو ما يعرف بمحرك "هيسلمان" وهى محركات ذات نسب إنضغاط منخفضة.

٧ـ التصنيف طبقا لسرعة دوران المحرك

تصنف محركات الإشعال بالضغط إلى محركات بطيئة تستخدم فى إدارة السفن وتقل سرعة دوران هذا النوع من المحركات عن ٤٠٠ لفة فى الدقيقة ومحركات متوسطة السرعة وتبلغ سرعتها ١٢٠٠ لفة فى الدقيقة وتستخدم غالبا كمحركات ثابتة ومحركات عالية السرعة وهى ما تزيد سرعتها عن ١٢٠٠ لفة فى الدقيقة وتستعمل فى إدارة المركبات ووسائل النقل.

٢ـ٣ مكونات المحرك

يستعرض هذا البند المكونات الأساسية للمحركات بأنواعها المختلفة. تصميمها وخاماتها وأبعادها وتشغيلها لكى تؤدى عملها بالدقة المطلوبة.

٢ـ٣ـ١ اسطوانات المحركات

تصنع اسطوانات محركات الإحتراق الداخلى بالسبك ويستخدم فى ذلك سبائك من حديد الزهر الرمادى أو سبيكة الحديد والنيكل أو الحديد والكروم. كما تصنع اسطوانات بعض المحركات من الألومنيوم وفى هذه الحالة تركب للاسطوانات قمصان (جلب) من الحديد الزهر الرمادى أو الصلب حيث أن مقاومة الألومنيوم للتآكل ضعيفة جدا.

وتكون الاسطوانة جزءا من جسم المحرك فى المحركات الصغيرة أو محركات البنزين بينما تستخدم اسطوانات منفصلة للتركيب والتثبيت بجسم المحرك فى محركات الديزل.

فى حالة التصنيف طبقا لعلاقة الاسطوانة بالتبريد

١- اسطوانات المحركات المبردة بالماء

وينقسم هذا النوع من الاسطوانات إلى اسطوانات ذات قمصان جافة (شميز جاف) حيث لا يتلامس ماء التبريد مباشرة مع سطح الاسطوانة الخارجى وكذا اسطوانات مبللة (شميز مبلل) حيث يتلامس السطح الخارجى للقميص مع مياه التبريد فى ممرات المياه بجسم المحرك.

عند تصنيف اسطوانات المحرك المبردة بالماء حسب طريقة تركيبها بجسم المحرك فإنها تقع فى مجموعتين رئيسيتين :

١- التركيب بالحشر : يقع تحت هذه المجموعة بعض أنواع الاسطوانات الجافة فقط.
٢- التركيب بالدفع : يقع تحت هذه المجموعة بعض أنواع الاسطوانات الجافة وجميع أنواع الاسطوانات المبللة.

٢- اسطوانات بزعانف لمحركات تبريد الهواء

فى هذا النظام يتخلل هواء التبريد تلك الزعانف لتبريد الاسطوانة. ويمكن تلخيص الاشتراطات العامة المطلوب توافرها فى إسطوانات المحرك كما يلى :

١- أن يكون السطح الداخلى لدية القدرة على مقاومة التآكل بالاحتكاك وخصوصا عند درجات الحرارة المرتفعة والتى تعمل عندها هذه السطوح وأن يكون به قدرا من التزليق (التزييت) فى حالات الضرورة إذا حدث لأى سبب من الأسباب نقص فى زيت التزييت الواصل لتلك السطوح.
٢- أن يكون السطح الداخلى لديه القدرة على مقاومة التآكل بالكيماويات سواء الموجودة فى زيت التزييت أو الوقود أو الناتجة من عملية الإحتراق وقدرته على مقاومة النحر بواسطة ماء التبريد بالسطح الملامس له.
٣- قدرة الإسطوانات على مقاومة الإجهادات الميكانيكية بكامل أنواعها (شد - إنضغاط - ثنى) والإجهادات الحرارية التى تتعرض لها القمصان الجافة التى تشحط بالدفع.

٢-٣-٢ (الكباسات Pistons)

تتفق مكابس محركات الإحتراق الداخلى فى مكوناتها الأساسية دون النظر لأسلوب الحريق أو عدد أشواط الدورة. ويتركز الاختلاف الرئيسى فى شكل سطح المكبس المواجه لغرفة الحريق. فبالنسبة لمكابس محركات الإشعال بالشرر يكون من المناسب جعل مساحة سطح المكبس المواجه لغرفة الحريق أكبر ما يمكن لتقليل ظاهرة الصفع. أما فى محركات الإشعال بالضغط - خاصة ذات غرف الإحتراق المفتوحة نجد أن المطلوب من سطح المكبس إحداث تيارات دوامية للحريق داخل غرفة الإحتراق أثناء شوط الإنضغاط والتى يتطلب تخليق جزء من غرفة الإحتراق على شكل تجويف بسطح المكبس يتناسب مع شدة الدوامات المطلوبة لرفع جودة الحريق.

يتركب المكبس من قطعة أسطوانية واحدة وتصنع المكابس من الحديد الزهر والحديد متوسط الصلابة للمحركات الديزل فائقة القدرة ، فى حين أنه غالبا ما تصنع من سبائك الألومنيوم لباقى أنواع المحركات.

ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار ترك خلوص مناسب بين السطح الخارجى للمكبس والسطح الداخلى للإسطوانة. والقيمة الصحيحة لهذا الخلوص تتراوح ما بين ٠,٠٠٢٥ و ٠,٠٠٥ سم.

كذلك تعتبر إرتفاع قابلية الألومنيوم للتمدد بزيادة درجة الحرارة إحدى المواصفات التى تؤخذ فى الاعتبار عند تصميم المكابس من سبائك هذا المعدن. ولتلافى هذا العيب فى سبائك الألومنيوم فإنه يجب :

١- تخليق مجارى حلقية فى رأس المكبس أعلى حلقات الضغط تعمل كموانع للحرارة وتحد من إنتقالها إلى باقى جسم المكبس.
٢- دعم المكبس من الداخل بأعصاب من الصلب منخفض التمدد.
٣- تصنيع المكابس بيضاوية الشكل (يتمدد المكبس على شكل بيضاوى عند إرتفاع درجة الحرارة).

ولإحكام الخلوص بين المكبس والإسطوانة تستعمل موانع تسرب خاصة يطلق عليها حلقات المكبس أو الشنابر. وتنقسم حلقات المكبس المستخدمة للمكبس الواحد إلى مجموعتين : الأولى هى مجموعة حلقات الضغط ووظيفتها منع تسرب الغازات من داخل الإسطوانة إلى علبة عامود المرفق. أما المجموعة الثانية فهى حلقات تنظيم الزيت وتستخدم لكشط الزيت من فوق السطح الداخلى للإسطوانة وتصريفه إلى علبة عامود المرفق من خلال ثقوب بجسم المكبس.

أ- حلقات الضغط (شنابر)

يستخدم الحديد الزهر الرمادى لتصنيع حلقات الضغط فى معظم التطبيقات الخاصة بالمحركات ويجب استخدام طرق سبك خاصة حيث يستخدم فيها الجرافيت وذلك للحصول على سبائك على درجة عالية من مقاومة التآكل وتحقيق أفضل الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للحلقة. وتصمم الحلقات بحيث تكون مفتوحة ليسهل تركيبها فى المجارى المخصصة لها بجسم المكبس.

ويكون قطر الحلقات أكبر قليلا من قطر الاسطوانة عندما تكون خارجها. أما عند تجميع المكبس مع الإسطوانة فيضغط عليها حتى تكاد تتلامس نهايتها وبشكل دائرة كاملة فتحكم الحلقات الخلوص بين المكبس والاسطوانة تماما.

تتعدد تصميمات حلقات الضغط المستعملة فى المحركات وتعتبر الحلقات ذات الحرف القائم أو ذات المجرى أو الحلقات الكاسحة ذات الأحرف المائلة هى الأكثر استخداما فى مجالات المحركات.

وعادة ما يتم تغطية أسطح الحلقات بمعادن طرية مثل الفوسفات والجرافيت وأكسيد الحديد لمنع تلامس المعادن الصلبة لسطح الاسطوانة والحلقات وبالتالى الحد من عملية التآكل لجسم الاسطوانة.

يستخدم بعض منتجى حلقات المكابس مواد شديدة الصلابة مثل الكروم فى تكسيه الحلقات وذلك لشدة صلابته حيث يكون سطحه أملس لأبعد درجة فضلا عن أن معدن الكروم غير قابل للالتصاق مع معدن سطح الإسطوانة.

ب- حلقات تنظيم الزيت

تصنع حلقات تنظيم الزيت من الصلب ووظيفتها الأساسية تنظيم عملية مرور الزيت وعدم تراكمه بكميات كبيرة على سطح الإسطوانة وهى عبارة عن حلقة معدنية مثقبة بثقوب قطرية بين سطحيها العلوى والسفلى.

٢-٣-٣ أعمدة نقل الحركة

تتعدد استخدامات أعمدة نقل الحركة فى محركات الإحتراق الداخلى كنقل حركة المكبس الترددى عبر ذراع التوصيل إلى عامود المرفق لتحويلها إلى حركة دورانية. أو نقل الحركة الدورانية لعامود المرفق نفسه لإدارة المنظومات المساعدة مثل منظومة فتح وغلق الصمامات ومنظومات الوقود خاصة فى محركات الديزل.

٢-٣-٣-١ ذراع التوصيل (Con-rod)
هو المسئول عن نقل الحركة الميكانيكية بين المكبس وعامود المرفق ويصنع من الحديد الصلب المعالج حراريا خفيف الوزن وذو قوة تحمل عالية.

٢-٣-٣-٢ عامود المرفق (Crank shaft)
يستخدم لتحويل قوة الدفع العمودية على سطح المكبس المولدة بواسطة ضغط غازات الإحتراق أثناء شوط القدرة إلى عزم دوران . لذلك يصنع عامود المرفق من قطعة واحدة بالسحب أو الطرق من سبيكة من الصلب ذو قوة تحمل ميكانيكية عالية جدا وتجرى له عمليات معالجة حرارية خاصة ليتحمل الدفع الشديد الذى يتعرض له أثناء شوط القدرة دون أى تشوه فى محوره.

لتزييت محاور تحميل أذرع التوصيل ومحاور تحميل عامود المرفق . تشكل بالثقب مجارى زيت فى جسم عامود المرفق ، وظيفتها نقل الزيت من مجارى الزيت الرئيسية إلى محاور الدوران وذلك لحماية معدن محاور الدوران من التآكل نتيجة الاحتكاك ، تركب على المحامل والمرافق كراسى محاور عبارة عن جلب مشقوقة نصفين "سبائك" تصنع من الصلب أو البرونز يصب فوقه طبقة من السبائك اللينة حيث يتركز التآكل فى الطبقة اللينة للجلب التى يمكن استبدالها إذا وصل التآكل لحد غير مسموح به. وتختار الأقطار الداخلية للجلب بحيث تزيد قليلا عن قطر المحور ويترك خلوص محدد بين الجلبة والمحور يختلف من محرك لآخر.

والخلوص الشائع الاستخدام يبلغ ٠,٠٠٤٥ سم ويمتلئ بالزيت أثناء دوران المحرك عن طريق مجرى الزيت والثقوب المشكلة فى الجلبة ويحكم وضع الجلب على المحاور بواسطة حلقات معدنية لمنع الحركة المحورية للجلب والوصلات.

٢-٣-٣-٣ أعمدة الكامات (Cam shaft)
يستخدم فى نقل الحركة من عامود المرفق إلى منظومة فتح وغلق صمامات العادم والسحب ويحتوى كل عامود كامات على كامتين لكل إسطوانة من إسطوانات المحرك أحداهما لصمام السحب والأخرى لصمام العادم كما نجد أن كامة صمام العادم ذات أنف مفلطح بينما كامة صمام السحب ذات أنف مدبب نسبيا وهذا يعنى أن فترة فتح صمام العادم لهذا المحرك أطول من فترة فتح صمام السحب.

ويحتوى عامود الكامات على محاور لكراسى التحميل يختلف عددها من تصميم لآخر.

٢-٣-٤ الصمامات
عادة ما يستخدم لكل اسطوانة من اسطوانات المحرك صمامين أحدهما للسحب والأخر لطـــــرد العـــادم. ونظرا للضغوط ودرجات الحرارة العالية التى تتعرض لها الصمامات ، يستخدم فى تصنيعها صلب خاص مقاوم للحرارة وخاصة لصمام العادم.

وعادة ما يتم تبريد الصمامات عن طريق توصيل مياه التبريد أقرب ما يمكن من قاعدة الصمام حيث تنتقل الحرارة من رأس الصمام إلى قاعدته ومنها عبر جسم الإسطوانة إلى ماء التبريد.

فى بعض محركات الخدمة الشاقة يتم استخدام أسلوب التبريد بالصوديوم وفيه يصنع ساق الصمام مفرغ من الداخل على امتداد محوره ويملأ الفراغ جزئيا بالصوديوم. حيث أن الصوديوم فى درجات الحرارة المعتادة للصمام أثناء تشغيل المحرك يكون فى حالته السائلة ويتحرك الصوديوم أثناء صعود الصمام

وهبوطه ناقلا الحرارة من الرأس الساخنة إلى ساق الصمام ويؤدى هذا الأسلوب إلى انخفاض درجة حرارة رأس الصمام حوالى ١٠٠ درجة مئوية.

تصمم الصمامات بحيث يكون لها القدرة على الدوران حول محورها لإزالة الرواسب الكربونية على قاعدة الصمام وطردها مع غازات العادم بصفة مستمرة كذلك تؤدى إلى انتظام توزيع درجات الحرارة على رأس الصمام وتجعل التآكل منتظما سواء للصمام أو قاعدته.

تصنع قاعدة الصمام من الصلب المقاوم للحرارة على شكل حلقة تركب برأس الإسطوانة بالشحط وتتحمل الحلقات ظروف التشغيل بشكل أفضل من معدن رأس الإسطوانة.

٢-٣-٥ الحدافة (Flywheel)

تستخدم الحدافة لتنظيم سرعة دوران المحرك سواء كانت المحركات رباعية أو ثنائية الأشواط. والحدافة عبارة عن قرص ثقيل من الصلب تثبت فى النهاية الخلفية لعامود المرفق وظيفتها مقاومة أى تغير فجائى فى سرعة دوران عامود المرفق وبالتالى فهى تعمل على توزيع قدرة المحرك على عدد أشواطه نتيجة لقدرتها على اختزان جزء من الطاقة فى صورة قوى القصور الذاتى وتعتبر الحدافة جزء من قابض الحركة ، وغالبا يشكل على محيط سطحها الخارجى ترس بدء إدارة المحرك.

٢-٣-٦ القابض (Clutch)

يستعمل القابض فى توصيل (تعشيق) المحرك أثناء دورانه بمجموعه نقل الحركة أو فصله عنها مؤقتا للتمكين من تعديل وضع التروس المنزلقة لمجموعة نقل الحركة سواء لزيادة أو لتخفيض سرعة عامود الإدارة. حيث من الضرورى وقف انتقال الحركة من المحرك إلى مجموعة نقل الحركة وإلا كان من المستحيل التمكن من تحريك المجموعة الترسية المنزلقة ومن المعروف أن القابض ذو يايات الضغط الحلزونية هو الأكثر استخداما عمليا.

تطلق بعض المراجع على قرص الاحتكاك مسمى "قرص الإدارة" لكونه العنصر المسئول عن نقل الحركة الدورانية من المحرك إلى عامود إدارة مجموعة نقل الحركة. وللتقليل من أثر الصدمة التى تحدث عند تعشيق القابض وامتصاص الاهتزازات الناشئة عنها ، يزود القابض بتجهيزه امتصاص صدمه التعشيق نطلق عليها بعد إضافة قرص الاحتكاك لها مسمى "مجموعة الإدارة".

وهى تتكون من قرص إدارة عبارة عن قرص معدنى مكسو بشرائح احتكاك لنقل الحركة بجانب وسائد مرنة لامتصاص صدمة إرتطام القرص بحدافة المحرك وقرص الضغط. وعلى محيط دائرة داخلية لقرص الإدارة توجد فتحات تستخدم كمنايم ليايات امتصاص صدمة نقل الحركة المثبتة فى الصرة المنفصلة.

٢-٣-٧ منظومات الوقود

تختلف منظومات الوقود حسب طبيعة نظام الإشعال فى المحرك فبينما يغذى المحرك فى محركات الإشعال بالشرارة بشحنة من الخليط متجانس من الهواء والوقود أثناء شوط السحب فإن محرك الإشعال بالضغط يغذى بالهواء فقط أثناء نفس الشوط ويحقن الوقود قرب نهاية شوط الانضغاط.

٢-٣-٧-١ منظومات وقود محركات الإشعال بالشراره
فى هذا النوع من المحركات تتعدد منظومات الوقود، حيث يتم تغذية المحرك بخليط متجانس من الهواء والوقود بنسب خلط محددة أثناء شوط السحب تبعا لحاجة المحرك التى تتباين حسب ظروف تشغيل المحرك المختلفة والجدول الآتى يوضح نسب الخلط المناسبة لظروف التشغيل المختلفة للمحرك.

تشغيل مستقر		تشغيل انتقالى	
حمل التشغيل	**هواء / وقود**	**ظروف التشغيل**	**هواء / وقود**
الحمل الخالى ٠ : ٢٠% من القدرة العيارية	١٢,٥	بدء إدارة والتسخين	١,٥ : ٣
الحمل العادى ٢٠: ٧٥% من القدرة العيارية	١٦,٧	تعجيل	١٢,٥
الحمل الأقصى ٧٥ : ١٠٠% من القدرة العيارية	١٤,٣		

١- منظومات الوقود المجهزة بمغذى Carburator System
وهى منظومات تقليدية شائعة الاستخدام حيث تتم عملية الخلط بواسطة المغذى وهو العنصر الرئيسى فى وحدة السحب. وأكثر هذه المغذيات استخداما هو مغذى سولكس Solex Carburator ويتكون من عدة تجهيزات مختلفة تمكنه من تحضير خليط متجانس تناسب ظروف التشغيل المتعددة ما بين تشغيل مستقر أو متغير وما بين تشغيل عند الحمل الخالى أو العادى أو الحمل الأقصى للمحرك.

٢- منظومة الوقود المجهزة بوحدة حقن بنزين Injection System
اتسع استخدام منظومات الحقن للبنزين نظرا لما تمتاز به هذه المنظومات على الأنظمة التقليدية ذات المغذى من حيث ارتفاع نسبة تجانس الخليط وارتفاع درجة دقة نسب الخلط بالنسبة لظروف التشغيل المختلفة مما ترتب عليه انخفاض المعدلات النوعية لاستهلاك الوقود كذلك انخفاض نسب المواد الضارة فى نواتج الاحتراق.

وتتعدد أنواع هذا النظام من حيث وجود اختلافات جوهرية فى أنواع معدات الحقن. فمضخة التغذية قد تكون ميكانيكية أو كهربية ذات قلب ترددى أو دوار كذلك الحقن قد يكون بالتحكم المباشر بواسطة رافعة البنزين أو بالتحكم الغير مباشر بتفريغ الهواء أو بالتحكم الإلكترونى.

وتعتبر منظومة بوش ذات المضخة الكهربية والتحكم الإلكترونى هى أكثر أنواع منظومات حقن البنزين استخداما.

٢-٣-٧-٢ منظومات وقود محركات الإشعال بالضغط
فى هذا النوع من المحركات يتم حقن وتذرير الوقود فى نهاية شوط الإنضغاط قبل النقطة الميتة العليا بعدد من الدرجات تتوقف على المواصفات الخاصة بكل محرك وسرعة الدوران وتتم عملية الحقن والتذرير بواسطة منظومة الحقن التى تتحدد مواصفاتها على شكل غرفة الإحتراق للمحرك ففى حين يلزم لغرف الحقن المباشر منظومات حقن ذات حواقن متعددة الثقوب ، يستخدم الحقن الغير مباشر منظومات ذات حواقن أحادية الثقوب.

بواسطة مضخة الحقن يتم رفع ضغط الوقود إلى ضغط محدد ويدفع إلى الحاقن ومنه إلى غرفة الحريق لتذرية وتوزيع مناسبين لغرفة الحريق ، وتصمم مضخة الحقن لتقوم بدفع كميات متساوية ومحددة من الوقود إلى اسطوانات المحرك فى توقيت وترتيب محدد.
وتستخدم مضخات الحقن مكبس ترددى يأخذ حركته من عامود يدار عبر مجموعة ترسيه بواسطة عامود المرفق وتجهز المضخة بوحدة تحكم فى معدل التدفق وسرعة الدوران.

١- مضخة الحقن متعددة المكابس

السمة المميزة لهذا النوع من مضخات الحقن ، أن كل مكبس مسئول عن توريد كمية وقود عيارية لاسطوانة محددة من إسطوانات المحرك. وتحتاج هذه المضخة لضبط ومساواة كمية الوقود الموردة من كل مكبس لضمان توليد قدرات متساوية من اسطوانات المحرك لتحقيق الإتزان الميكانيكى للمحرك.

٢- مضخة الحقن أحادية المكبس

تختلف عن النوع السابق فى كونها مصممة لتمد محرك متعدد الإسطوانات باحتياجاته من الوقود عن طريق مكبس واحد وتمتاز بعدم احتياجها لضبط تساوى كمية الوقود المحقونة لكل إسطوانة من إسطوانات المحرك بالإضافة لخفة الوزن وصغر الحجم.

٣- حاقن وقود الديزل Diesel fuel injector

هو أحد مكونات منظومة الحقن وهو عبارة عن مجموعة ميكانيكية مسئولة عن تسليم غرفة احتراق المحرك كمية محددة من الوقود فى توقيت محدد وبمعدل يناسب مراحل الحريق فى صورة رذاذ موزع بشكل مناسب داخل غرفة الإحتراق ويتركب الحاقن بشكل عام من مجموعتين :

المجموعة الأولى هى مجموعة مذرر الوقود وهى الجزء السفلى من الحاقن وتتصل برأس إسطوانة المحرك وتبرز نهايتها السفلى فى غرفة الإحتراق وتتكون من فوهة أو فوهات تذرير وإبرة ذات نهاية مخروطية لفتح وغلق فوهة التذرير.

المجموعة الثانية هى مجموعة التحكم فى حركة إبرة المذرر وتثبت أعلى المجموعة الأولى بواسطة قلاووظ مشكل فى جسم المجموعتين. وتتكون من ساق اتصال بإبرة المذرر يعلوها ياى حلزونى يضغط عليها لأسفل ويعلو الياى صامولة لضبط قوى الياى.

وينتقل الوقود من أنابيب اتصال الحاقن بمضخة الحقن عن طريق مجرى مشكلة بالثقب ممتدة فى جسم مجموعة التحكم ومجموعة المذرر إلى غرفة الإبرة ويمر الوقود أثناء دخوله للحاقن على فلتر "سلك منخل" مركب فى جسم الحاقن.

٢-٣-٧-٣ مضخات التغذية

١- مضخات التغذية لمحركات الإشعال بالشراره

اعتمدت التصميمات القديمة لمحركات الإحتراق الداخلى على قوى الجاذبية فى نقل الوقود من الخزان إلى منظومة الوقود ، أما الآن أصبح من الضرورى تجهيز منظومة الحقن سواء كانت بنزين أو ديزل بمضخة تغذية لمد منظومة الوقود باحتياجاتها منه. ويختلف تصميم المضخة باختلاف نوع الوقود المستخدم فى الإحتراق وأهم المضخات المستخدمة فى المحركات بأنواعها.

أ- المضخات الترددية الميكانيكية

تركب مضخة الوقود إلى جانب جسم الإسطوانات فى المحركات ذات الإسطوانات المرتبة على خط مستقيم واحد أو بين جسمى الإسطوانات إذا كانت الإسطوانات للمحرك مرتبة على شكل حرف V . ويتصل بالمضخة ذراع ذو حركة ترددية يمتد إلى داخل جسم الإسطوانة خلال فتحة به. ويستند ذراع الحركة الترددية على عجلة لا مركزية على عامود الكامات. وفى محركات إسطوانات حرف V يكون ذراع الحركة الترددية مستندا إلى عامود دفع مرتكز عند النهاية السفلى على قرص لا مركزى موجود على عامود الكامات.

ب- المضخات الترددية الكهربية

تستعمل مضخة الوقود الكهربية فى بعض محركات وسائل النقل ذات القدرات المرتفعة نسبيا وتحتوى مضخة الوقود على منفاخ معدنى مرن يتحرك بواسطة مغناطيس كهربي.

٢- مضخات التغذية لمحركات الإشعال بالضغط

الغرض منها سحب وقود من خزان الوقود عبر الفلتر الابتدائى لمنظومة الحقن ودفعه بضغط فى حدود ١,٥ كجم / سم^{٢} إلى مضخة الحقن عبر باقى فلاتر تنقية الوقود.

أ- المضخة الترددية المكبسية

يستمد هذا النوع من المضخات حركته الترددية من كامة تشكل على عامود كامات مضخة الحقن خصيصا لذلك.

ب- المضخة التروسيه Gear pump

يستمد هذا النوع حركته غالبا من عامود إدارة منظم السرعة الملحق بمضخة الحقن وتتكون المضخة من ترسين متساويين فى عدد الأسنان أحدهما ترس قائد والآخر ترس مقاد.

٢-٣-٧-٤ منظومات التحكم فى تغذية الوقود

أثناء تشغيل المحركات وخاصة عند استخدامها فى إدارة المركبات والمعدات المتحركة يكون المحرك معرض بصفة مستمرة لتغير الحمل وتتباين القدرة المولدة من المحرك والحمل المنوط به إدارته.
لذلك يجب استخدام منظم سرعة دون التقيد بالحمل المنوط به إدارته وتعتبر المنظمات الطاردة المركزية والمنظمات ذات مخلخل الهواء هى المنظمات الأكثر استخداما فى هذا المجال.

١- المنظمات الطاردة المركزية

ينقسم هذا النوع من المنظمات إلى نوعين أساسيين أحدهم متغير السرعة والأخر ثابت السرعة.

أ- منظم متغير السرعة

يتحكم المنظم فى مدى سرعات محدد لتشغيل المحرك بحيث تثبت سرعة دوران المحرك عند الحمل الخالى دون هبوط فى سرعة الدوران أو التوقف عند زيادة التحميل كذلك تثبت سرعة الدوران القصوى للمحرك بحيث لا يحدث تسارع أو تباطؤ لدوران المحرك عند تخفيف أو زيادة التحميل.

فى بعض الحالات تستدعى الحاجة تشغيل المحرك لفترات قصيرة عند أحمال تزيد عن الحمل الأقصى له ، بالتالى يجهز المنظم بمجموعة ضبط أقصى نسبة من القدرة القصوى مسموح بتجاوزها.

ب- المنظمات ثابتة السرعة

تطابق نظرية عمل هذا النوع من المنظمات مع النوع السابق والاختلاف الوحيد هو إلغاء مجموعة الرافعة التى تمكن من تغير سرعة المنظم واستبدالها بالمسمار المحورى.

٢- المنظمات ذات مخلخل الهواء

يتم التحكم فى كمية الوقود الداخلة للمحرك فى هذا النوع من المنظمات عن طريق وضع بوق متقارب فى مسار الهواء الداخل للمحرك ويتم التحكم فى كمية الهواء المارة به بواسطة صمام خنق.

٢-٣-٨ فلاتر التنقية

يتوقف عمل المحرك بصورة أساسية على مدى خلو الهواء والوقود اللازمين للحريق كذلك الزيت المستخدم فى تزييت الأجزاء الميكانيكية من الشوائب والأتربة والجسيمات الغريبة.
وترجع أهمية استخدام فلاتر التنقية للأسباب الآتية :

أ- استخدام هواء غير نقى يؤدى إلى سرعة التآكل فى الأسطح الداخلية لغرف الإحتراق والصمامات وغيرها مما يؤدى لإرتفاع تكاليف الصيانة.
ب- استخدام وقود به نسبه و لو ضئيلة من الشوائب يؤدى لمشاكل لا حصر لها بمجموع التغذية أبسطها فوهات و أنابيب نقل الوقود فضلا عن تآكل الأجزاء المتحركة بمنظومات الوقود.
ج- تؤدى أقل نسبة من الشوائب العالقة فى الزيوت إلى انخفاض كفاءة دورة التزييت و إرتفاع معدلات البرى ومن ثم التلف السريع للمحرك. وتتم عمليتى تنقية الهواء والوقود قبل الدخول للمحرك بينما تتم تنقية الزيت أثناء دوران المحرك.

٢-٣-٨-١ فلاتر الهواء Air filters

يستخدم فى عملية تنقية الهواء تصميمات مختلفة و متنوعة من الفلاتر الجافة والفلاتر المبللة بالزيت التى تتباين فيما بينها حسب تصميم مسار الهواء وأسلوب فصل الأتربة ومادة صنع عنصر التنقية.

أ – الفلاتر الجافة Dry filters

تعتمد عمليه فصل الأتربة فى الفلاتر الجافة على إجبار الهواء على عكس مساره مرة أو عدة مرات داخل الفلتر فتنفصل أغلب الأتربة والجسيمات العالقة نتيجة قوى القصور قبل مروره على عنصر التنقية.

و تعتبر الفلاتر الورقية هى الأكثر استخداما لما تتميز به من رخص الثمن وسهولة الصيانة فضلا عن إرتفاع كفاءتها.

ب – الفلاتر المبللة بالزيت

تعتمد عملية فصل الأتربة فى هذا النوع من الفلاتر على اصطدام الهواء بعد عكس اتجاه سريانه على سطح زيت فى حوض أسفل الفلتر فينفصل أكثر من ٩٠% من الأتربة والجسيمات العالقة قبل مرور الهواء على قلب الفلتر حيث عنصر الترشيح المبلل هو أيضا بالزيت.

٢-٣-٨-٢ فلاتر الزيت

من المعروف أن كمية من نواتج الإحتراق تجد طريقها إلى علبة عامود المرفق (الكارتير) حيث يوجد زيت التزييت. هذه الكميه بما تحويه من ماء ونواتج شبه صلبة كالكربون غير المحترق يتكون منها خبث يؤدى إلى انسداد مسارات الزيت و يتراكم على كراسى المحاور مسببا تلفها إذا لم يتم إزالته من الزيت.

لإزالة الخبث من الزيت تستخدم منظومتان للتنقية إحداهما مكونة من فلتر واحد يوضع فى علبة الكارتير وظيفتها تخليص الزيت من الجسيمات الكبيرة نسبيا كذلك حماية مضخة الزيت أما المنظومة الأخرى فتوضع على أحد جانبى المحرك من الخارج لأسفل ويتوقف عدد الفلاتر بها على حجم المحرك وحجم الفلتر المستخدم.

تتوقف كفاءة عملية التنقية على درجة حرارة الزيت التى يجب أن لا تقل بالفلتر عن ٧٥ ° م . وتنقسم أنواع فلاتر الزيت الخارجية إلى نوعين أساسيين حسب طريقه عملها. فى النوع الأول : يمر جزء من الزيت عبر الفلتر أما الجزء الباقى من الزيت فإنه يمر عبر مسار فرعى إلى أجزاء المحرك المختلفة دون عملية تنقية وهو ما يطلق عليه علميا By Pass System ، أما فى النوع الثانى فإن كل كمية الزيت تمر عبر الفلتر و تجهز فلاتر هذا النوع بصمام أمان متصل بمسار فرعى يمر منه الزيت إلى أجزاء المحرك المختلفة فى حالة انسداد الفلتر و يعرف هذا النوع علميا باسم Full Flow System . وتستخدم عدة مواد مختلفة فى صناعة قلب الفلتر (عنصر التنقية) أهمها الورق المعالج Treated Paper وتراب القصار Fuller's Earth كذلك عدة مواد صناعية أخرى Materials Synthetic . يصنع قلب الفلتر من مادة واحدة أو أكثر من تلك المواد وفى بعض التصميمات يمكن تغيير قلب الفلتر فقط و فى البعض الأخر يجب تغيير الفلتر بكامله بعد عدد ساعات تشغيل محددة طبقا لكتيب تشغيل وصيانة المحرك.

٢-٣-٨-٣ فلاتر الوقود

تعتبر عملية تنقية الوقود من الشوائب العالقة قبل الدخول لمنظومة الوقود أمر جوهرى وهام نظرا لدقة مسارات الوقود فى المحركات عموما وإن كانت هذه الأهمية تزداد فى محركات الإشعال بالضغط بصفة خاصة. ففى حين فلتر واحد من نوع سلك المنخل كعنصر تنقية داخل مضخة الوقود بين خزان الوقود والخلاط كافى للقيام بعملية تنقية البنزين فى محركات الإشعال بالشرارة فإننا نحتاج فلترين على الأقل لتنقية السولار فى محركات الإشعال بالضغط.

تتعدد طرازات ومواد صنع فلاتر وقود السولار بالشكل الذى يضمن خلو الوقود من كافة أنواع الشوائب العالقة به نظرا للصغر المتناهى للخلوص بين الأجزاء المتحركة سواء فى مضخة الحقن أو الحاقن.

يصنع عنصر التنقية للفلتر من أقراص الفيبر ، الشرائح الورقية أو البلاستيكية المشربة ، الألياف القطنية، الألياف الصوفية ، تراب القصار بالإضافة للشبكات المنخلية.

٢-٣-٩ الدوائر الكهربية ومكوناتها

تعتبر البطارية والمولد الكهربى هى القاسم المشترك لأى دائرة من الدوائر الكهربية للمحرك حيث تتكون منها مجموعة توليد وتخزين الطاقة الكهربية اللازمة لتشغيل الدوائر الكهربية المختلفة الآتية :

- دائرة الإشعال "محركات بنزين".
- دائرة التسخين لبدء الإدارة "محركات الديزل".
- وحدة بدء الحركة للمحرك سواء كان بنزين أو ديزل.

٢-٣-٩-١ البطارية

تمد البطارية دائرة بدء الإدارة باحتياجاتها من التيار الكهربى عند بدء الإدارة. كذلك تمد الدوائر الكهربائية المختلفة بالقدرة فى حالة ما إذا كانت القدرة المولدة من المولد الكهربى أقل من القدرة المطلوبة نتيجة انخفاض سرعة دوران محرك الإحتراق. وتعتمد دوائر الإضاءة والتدفئة والرفاهيه على البطارية أثناء توقف المحرك عن الدوران.

مكونات البطارية

تتكون البطارية (Lead acid) من عدد من الأقطاب السالبة والموجبة على شكل ألواح شبكية تصنع من سبيكة الأنتيمون والرصاص وتغطى بطبقة من معدن نشط "عجين الرصاص الإسفنجي" للأقطاب السالبة و "فوق أكسيد الرصاص" للأقطاب الموجبة. وتوضع الأقطاب رأسية على مسافات بينية بالتبادل فى إناء محكم مصنوع من مادة عازلة تقاوم الحرارة والصدمات ولا تتأثر بالأحماض ، ويفصل كل قطب موجب عن القطب السالب المقابل له بواسطة ألواح شبكية تصنع من الزجاج المسامى أو المطاط وتوصل الأقطاب الموجبة سويا من طرف واحد بواسطة شريحة من الرصاص وتوصل الأقطاب السالبة سويا من طرف واحد أيضا بشريحة من الرصاص. ويجب مراعاة ما يلى عند شحن وتفريغ البطارية :

يجب عدم زيادة تيار الشحن عن ١٠ % من قيمة سعة البطارية ، فبفرض المطلوب شحن بطارية سعتها ١٢٠ أمبير ساعة فإن القيمة القصوى لتيار الشحن يجب أن لا تتعدى ١٢ أمبير وذلك لما تسببه زيادة شدة تيار الشحن من إرتفاع فى درجة حرارة البطارية أثناء الشحن والتى يجب أن لا تتجاوز ٤٣ درجة مئوية حتى لا تتلف ألواح البطارية. كذلك إرتفاع شدة تيار الشحن يؤدى إلى فصل ذرات الرصاص من الألواح. كذلك يجب عدم المبالغة فى تفريغ البطارية حيث أن التفريغ الزائد يؤدى إلى تفتيت ألواح الرصاص وتلفها نتيجة تراكم كبريتات الرصاص عليها.

٢-٣-٩-٢ المولد الكهربى

هو عبارة عن جهاز تحويل الشغل الميكانيكى إلى طاقة كهربية تستهلك فى تغذية الدوائر الكهربية المختلفة للمحرك بالإضافة لشحن البطارية لتعويض الطاقة المفقودة منها أثناء بدء إدارة المحرك.

فى حالة وصول سرعة دوران محرك الإحتراق لسرعات مرتفعة نسبيا تبلغ شدة التيار الناتج من المولد قيما تشكل خطورة على الدوائر الكهربية والأجهزة المتصلة به. ولتلافى ذلك توصل مع المولدات منظمات للجهد والتيار.

توصل البطارية مع المولد عبر قاطع ذاتى للتيار بحيث يفصل القاطع الذاتى البطارية عن المولد. فى حالة ما إذا كانت القوة الدافعة الكهربية المستنتجه من المولد أقل من القوى الدافعة الكهربية للبطارية.

٢-٣-٩-٣ دائرة بدء الإدارة ومكوناتها

عبارة عن محرك كهربى مجهز بشكل خاص ومتصل بالبطارية عن طريق مفتاح بدء الإدارة. المحرك الكهربى مجهز بترس صغير يتم تعشيقة مع الترس المشكل على محيط حدافة المحرك بغرض بدء إدارته بواسطة المحرك الكهربي. ويختار عدد أسنان الترسين بحيث تكون نسبة التخفيض (١ : ١٥) وبالتالى تبلغ القدرة المطلوبة للمحرك الكهربى ١ : ١٥ من قدرة محرك كهربى يتم توصيله مباشرة مع حدافة محرك الإحتراق لتأدية نفس العمل.

لتلافى استمرار المحرك الكهربى متصلا بمحرك الإحتراق بعد حدوث الدوران بسرعة مرتفعه تؤدى إلى تدمير المحرك الكهربى نتيجة القوى الطاردة المركزية الهائلة التى تتعرض لها أجزائه عند تلك السرعة. لذلك يجب فصل تعشيقة ترس المحرك الكهربى تلقائيا عن حدافة المحرك بمجرد حدوث الإشعال. ويعتبر قابض القصور الذاتى والقابض ذو الملف المغناطيسى أشهر الوسائل الميكانيكية المستخدمة لهذا الغرض.

أ- قابض القصور الذاتي
تعتمد نظرية عمل هذا النوع من القوابض على تأثير قوى القصور الذاتى لجسم ما من حيث مقاومته لتغير حالته من السكون أو الحركة.

ب- القابض ذو الملف المغناطيسي
عند إدارة مفتاح بدء الإدارة يصل التيار إلى الملف المغناطيسى الذى يجذب الرافعة فيتم تعشيق ترس بدء الإدارة مع ترس الحدافة قبل توصيل التيار إلى ملفات المحرك الكهربى.

٢-٣-٩-٤ دائرة الإشعال لمحركات البنزين
يتم بدء الإشعال فى محركات البنزين عن طريق مؤثر خارجى يعمل على بدء إشعال الشحنة عند توقيت محدد يتناسب مع سرعة دوران المحرك. ويتم ذلك بواسطة دائرة كهربية تنتهى بشمعة احتراق تركب برأس إسطوانة المحرك بحيث يبرز قطبيها بداخل غرفة الاحتراق.

وتتلخص وظائف دائرة الإشعال فى النقاط التالية :
- أ- تكبير جهد البطارية أو المولد الكهربى إلى الجهد المناسب لحدوث الشرر.
- ب- تعديل توقيت حدوث الشرر بالتقديم أو التأخير حسب سرعة دوران المحرك.
- ج- تعديل توقيت حدوث الشرر بالتقديم والتأخير حسب حمل المحرك.

وتتكون دائرة إشعال محرك البنزين بالإضافة لمصدر التيار الكهربى (البطارية أو المولد الكهربى) من :

١- وحدة تكبير جهد
تتكون من ملف ابتدائى عبارة عن بضع مئات من لفات الأسلاك السميكة المعزولة تحيط بملف ثانوى عبارة عن عدة آلاف من الأسلاك الرفيعة المعزولة.

٢- مقطع التيار
عبارة عن كامة متعددة الرؤوس بها عدد رؤوس مساوى لعدد إسطوانات المحرك وفى بعض الحالات تستبدل الكامة بكامتين عدد الرؤوس مساويا لنصف عدد الإسطوانات.

قاطع التيار مجهز بحافظتين لقطع وتوصيل التيار. حافظة قطع التيار عبارة عن شريحة معدنية مرنه تصمم بحيث تغلق دائرة الإشعال تحت تأثير قوى المرونة للشريحة وتفتح الدائرة تحت تأثير دفع أحد رؤوس الكامة أثناء دوران عمود كامة مقطع التيار للحافظة بعيد عن نقط الاتصال. ويستمد عامود كامة مقطع التيار حركته من عامود كامات المحرك.

٣- الموزع
عمليا يصمم الموزع ومقطع التيار سويا داخل مجموعة واحدة تحت أسم الموزع تضم بداخلها عدة إضافات أخرى سنتناولها فى حينها.

أما عمل الموزع نفسه فهو توصيل فرق الجهد العالى المولد بوحدة تكبير الجهد إلى شمعات الإحتراق الواحدة تلو الأخرى حسب ترتيب الإشعال للمحرك.

تزود الدائرة الابتدائية المكونة من مصدر التيار والملفات الابتدائية ومفتاح قاطع التيار بمكثف على التوازى معها ، بغرض تخزين التيار أثناء غلق الدائرة الابتدائية ودفعه فى الدائرة أثناء فتحها عكس اتجاه مرور التيار الأصلى ، فيعجل بتلافى التيار ويزيد من فرق الجهد المنتج بواسطة الملفات الثانوية.

يعمل المكثف أيضا على حماية نقاط التوصيل للشريحة حيث أنه يحد من قدرة التيار على تفريغ شحنته عبر الثغرة الهوائية بين نقاط التوصيل والدائرة الابتدائية مفتوحة. يزود الموزع بمجموعة تقديم الشرارة التى تعتمد على القوة الطاردة المركزية.

وتزود بعض الموزعات بمجموعة مخلخل هواء تعمل على زيادة تقديم الشرر عند الأحمال الجزئية للمحرك.
وجدير بالذكر أن بعض تصميمات الموزع تكتفى بمجموعة مخلخل الهواء ليقوم بمفردة بضبط توقيت الشرر دون الحاجة لمجموعة الطارد المركزى.

تزود الدائرة الابتدائية أيضا بمقاومة توالى لحماية مكونات الدائرة من أى إرتفاع للتيار أثناء دوران المحرك وتفصل هذه المقاومة تلقائيا عند بدء إدارة المحرك ، وتوصل بعد ذلك نظرا لحاجة الدائرة إلى أقصى قدرة من البطارية.

٢-٣-٩-٥ دائرة التسخين لمحركات الديزل

تستخدم دوائر التسخين الكهربية لمحركات الديزل ذات الغرف الدوامية. نتيجة لشدة التيارات الدوامية لهذا النوع من الغرف تزداد معدلات التبريد مما لا يتمكن معه المحرك من بدء الإدارة دون مساعدات تسخين خارجية. وتتكون الدائرة الكهربية من مفتاح التوصيل والبطارية وشمعة تسخين لكل إسطوانة من إسطوانات المحرك.

عند بدء إدارة المحرك يحرك مفتاح التوصيل على وضع بدء الإدارة ويتم الانتظار حتى تضئ لمبة بيان إتمام تسخين المحرك. عندئذ يدار مفتاح التوصيل على وضع إدارة المحرك فيتم فتح دائرة التسخين وتفصل شمعة التسخين عن البطارية.

٢-٣-١٠ منظومات تبريد المحركات

الغرض من عملية التبريد هو الاحتفاظ بدرجات حرارة معينة للأجزاء المختلفة لجسم المحرك بحيث نضمن أفضل أداء له عند كل ظروف التشغيل المحتملة للمحرك.

تصل درجة الحرارة عند إحتراق الشحنة داخل إسطوانة المحرك إلى حوالى ٢٥٠٠ درجة مئوية. ويمتص جسم الاسطوانة والمكبس جزء من الحرارة الناتجة عن الإحتراق ، فإذا تركت هذه الأجزاء بدون تبريد كان معنى ذلك وصولها لدرجات حرارة عالية جدا لا يتحملها معدن صنعها ، بالإضافة لوجود فرق جهد حرارى ضخم بين أجزاء المحرك المختلفة يؤدى لتشقق تلك الأجزاء ودمار المحرك. ويجب أن يكون معلوما أن للتبريد الزائد عن الحد أيضا أضراره حيث يؤدى لانخفاض قدرة المحرك بالإضافة لانخفاض جودة عملية التزييت ، إذا قلت درجة الحرارة عن حد معين. وعموما يجب أن نحتفظ بجدران الإسطوانة عند درجة حرارة من ٢٠٠ إلى ٢٥٠ درجة مئوية. ويستخدم فى تبريد المحركات نظامين من نظم التبريد هما التبريد بالهواء أو بالماء.

٢-٣-١٠-١ منظومة التبريد بالهواء
فى هذا النوع من التبريد يستخدم الهواء كوسيط تبريد ينقل الحرارة من جسم المحرك إلى الوسط المحيط وتشكل على أجسام المحركات التى تستخدم هذا النوع من التبريد زعانف من معادن جيدة التوصيل للحرارة ، تشكل فيما بينها مجارى هوائية.

يجبر الهواء على الدخول للمجارى الهوائية إما بمروحة خاصة أو نتيجة حركة المركبة المركب عليها المحرك ويستخدم التبريد بالهواء لمحركات الطائرات والدراجات البخارية والمحركات الصغيرة عموما.

٢-٣-١٠-٢ منظومة التبريد بالماء
يعتبر هذا النوع هو الأكثر استخداما فى مجال المحركات وفيه تشكل حول إسطوانات المحرك ورأسها قمصان عبارة عن فراغات تملأ بماء التبريد ويوصل ماء التبريد إلى الأجزاء الأخرى المطلوب تبريدها كقواعد الصمامات وغيرها عن طريق أنابيب تركب داخل القمصان لمد هذه الأجزاء بكميات إضافية من ماء التبريد.

تستخدم مضخة لنقل ماء التبريد بين المجمع العلوى والسفلى وتحاط مسارات الماء بشرائح معدنية على شكل زعانف تشكل فيما بينها مسارات لهواء التبريد ويدفع الهواء بواسطة مروحة تركب على نفس وصلة مضخة الماء.

٢-٣-١١ نظم تزييت المحركات
عملية التزييت من العمليات الهامة جدا لمحركات الإحتراق الداخلى حيث ترتبط جودة المحرك بمدى كفاءة دورة التزييت ويؤدى أدنى قصور فى دورة تزييت المحرك لمشاكل جمة أبسطها سرعة تآكل أجزاء المحرك المختلفة وانخفاض كفاءته الميكانيكية.

٢-٣-١١-١ أهداف دورة التزييت
١- تقليل عملية التآكل لأقصى حد من الأسطح والمحاور المعرضة للاحتكاك بمدها بكمية كافية من الزيت بحيث تكون عملية الاحتكاك من النوع اللزج. ونقصد به أن يتم الاحتكاك بين طبقتين متلاصقتين من الزيت حيث أن انخفاض كمية الزيت يؤدى إلى احتكاك دهنى وقد يصل إلى احتكاك جاف مما يعرض المحرك للتلف.
٢- تبريد أجزاء المحرك المختلفة التى لا تستطيع دورة التبريد الوصول إليها.
٣- امتصاص صدمات أعمدة نقل الحركة ومحاور الدوران مما يؤدى إلى انخفاض الضوضاء الناتجة عن دوران المحرك.
٤- ملء أى اختلاف فى الخلوص بين حلقات الضغط (الشنابر) والإسطوانة بالزيت مما يسد الثغرات التى يمكن لغازات العادم أن تتسرب منها إلى علبة عامود المرفق.
٥- تنظيف الأسطح والمحاور المعرضة للاحتكاك حيث يصحب الزيت أثناء تدفقه عليها ما يعلق بها من ذرات الكربون والجسيمات الغريبة الأخرى ويتخلص منها عبر فلاتر الزيت.

٢-٣-١١-٢ مواصفات زيوت التزييت
تصنع زيوت التزييت بمواصفات خاصة لتمكنها من تحقيق وظيفتها بكفاءة عالية وتعتبر درجة لزوجة الزيت ومدى قدرته على مقاومة التأكسد ومقاومة تكوين الكربون هى المواصفات الأساسية التى على ضوئها يتم إختيار زيت ما حسب نوع المحرك وظروف تشغيله.

أ- اللزوجة
اللـزوجة هـى صـفة مـن صـفات زيـت التـزييت والمقصـود بهـا مقاومـة الـزيت للـتدفق. ويمكـن توصـيف اللـزوجة أنهـا خلـيط مـن صـفتى القـوام والسيولـة ويـتعلق بمـدى مقاومـة طـبقة الـزيت للـثقب أو الـنفاذ عند تعرض الزيت لأحمال ثقيلة.

والسـيولـة هـى مـدى قابلـية الـزيت للانسـياب خـلال مجـارى الـزيت وانتشـاره فـوق السـطوح المعرضـة للاحتكاك. وممـا سبق يتضح أن القوام والسيولة هما صفتان متضادتان للزيت حيث أنه كلما زادت سيولة الزيت قلت درجة قوامه ويجب أن يكون الزيت المستعمل فى أى محرك ذا درجة قوام كافية لتحمل أقصى حمـل يتعرض لـه أثناء ظـروف التشـغيل المختلفة وفـى نفس الـوقت تكون له درجة سيولـة مناسبة بحيث يمكنه التدفق بسهولة بمجارى الزيت.

ومـن المعروف أن خاصـية القوام تتناسب عكسيا مـع درجـة الحـرارة بينما تتناسب السيولة طـرديا مـع درجـات الحـرارة. وحيـث أن الـتفاوت فـى درجات حرارة الأجزاء المختلفة للمحرك عند اختلاف الأحمال تـبلغ عـدة مـئات مـن الـدرجات فيجب إخـتيار الـزيت بحـيث يحـتفظ بـدرجـة سـيولة مناسـبة عـند الأحمـال المنخفضـة ودرجة قوام مناسبة عند الأحمال ودرجات الحرارة المرتفعة للمحرك.

ب- مقاومة تكوين الكربون
يتعـرض الـزيت أثـناء دورة التـزييت لـدرجات حـرارة مـرتفعة تصـل لعدة مئات من الدرجات المئوية مما يـؤدى لاحـتراق بعـض الـزيت. فإذا نتج عن هذا الحـريق كربون بكميات كبيرة نسبيا أكبر من قدرة الزيت علـى اصـطحابها معـه للـتخلص منها فى الفلاتر تراكم هذا الكربون فوق أجزاء مختلفة من المحرك مسببا أضرار جسيمة له.

لذلك عند إختيار زيت تزييت لمحرك تراعى درجة مقاومة هذا الزيت عند إحتراقة لتكوين الكربون.

ج- مقاومة التأكسد
فى درجات الحرارة العالية التى يعمل عندها الزيت داخل الأجزاء المختلفة للمحرك تختلط قطرات الزيت بالهـواء الـذى يعمـل علـى أكسدة الزيت. وتنتج عن الأكسدة مادة رغوية غليظة القوام مثل "الزفت" تؤدى إلـى انسداد مجارى الزيت بأجزاء المحرك المختلفة وتعوق عملية التزييت.

فـى بعض الحـالات تتكون نتيجة للأكسدة طبقة تشبه الورنيش على أجزاء المحرك المختلفة لها نفس الأثر الضـار للمـادة الـرغوية السـابق الإشـارة إليها. بالتالى يجب عند إختيار زيت تزييت لمحرك مراعاة درجة مقاومة هذا الزيت للأكسدة.

٢-٣-١١-٣ أنواع زيوت التزييت
تتعدد أنـواع الـزيوت المسـتخدمة فـى محركات الإحتراق الداخلى لتناسب التصميمات المختلفة للمحركات كذلك لتناسب ظروف تشغيل كل محرك.

بشكل عام تستخدم الزيوت ذات المدلول ML, MM, MS لمحركات البنزين بينما تستخدم الزيوت ذات المدلول DS, DG لمحركات الديزل.

زيـت MS يستعمل هذا الزيت للخدمـة الشاقة ويستعمل عندما تتطلب ظروف التشغيل مواصفات خاصة للزيت تناسب حالات الإدارة عند درجات حرارة منخفضة وكثرة توقف المحرك ، وخاصة عند استخدامه

كمحرك مركبة داخل المدن أو السير بالمركبة لمسافات طويلة وبسرعة عالية على الطرق السريعة خارج المدن ، وفى حالة الحاجة للتشغيل عند الحمل الأقصى لفترات طويلة نسبيا.

زيت MM يستعمل فى حالة الخدمة المتوسطة كحالات السير بسرعة مرتفعة لفترات صغيرة نسبيا أو رحلات طويلة وسرعات متوسطة.
زيت ML يستعمل هذا الزيت فى حالة الخدمة الخفيفة.

زيت Ds يستعمل هذا الزيت لتزييت محركات الديزل تحت ظروف الخدمة مثل حالات إدارة المحرك باستمرار عند درجات حرارة منخفضة وأحمال صغيرة أو عند إدارة المحرك عند درجات حرارة مرتفعة وأحمال قصوى أو عند استعمال وقود يحتوى على نسب عالية من الكبريت والمواد المتطايرة.

زيت DG يستعمل هذا النوع من الزيوت لمحركات الديزل التى تعمل فى ظروف الخدمات الخفيفة أو العادية.

ويجب أن لا نخلط بين لزوجة الزيت ومعيار الخدمة له فإنه ليس من الضرورى أن الزيت ذو اللزوجة المرتفعة يكون زيت للخدمة الشاقة وتجدر الملاحظة أن هناك مدلول أخر للزوجة وهو ما يعبر عنه على سبيل المثال بـ SAE10 أو SAE20 . والرقم هنا يعبر عن درجة لزوجة الزيت فالزيت SAE20 أعلى لزوجة من الزيت SAE10 ولكن ليس معنى ذلك أن الزيت SAE10 غير مناسب لحالة بعينها من الخدمة نظرا لانخفاض لزوجته نسبيا. ويجب الإطلاع على معيار الخدمة له فقد يكون مناسبا لأى حالة من حالات الخدمة السابق الإشارة إليها.

٢-٣-١١-٤ أساليب تزييت المحركات

هناك أسلوبين لتزييت المحرك هما : أسلوب التزييت بالطرطشة ، وأسلوب التزييت بالضغط وعادة ما يجمع الأسلوبين لتزييت المحركات.

يعتمد الأسلوب الأول على وجود ملاعق أو غطاسات على كراسى ذراع التوصيل تغمس فى الزيت أثناء دوران المحرك وتنثره فى شكل رذاذ وأبخرة كثيفة على أجزاء المحرك المختلفة. أما فى أسلوب التزييت بالضغط فيتم دفع الزيت عن طريق مضخة الزيت إلى مجارى الزيت المشكلة بالثقب بأجزاء المحرك المختلفة.

٢-٤ أداء محركات الإحتراق الداخلى

الهدف الأساسى من هذا البند هو التعرف على كيفية تحديد مدى ملائمة محرك ما للتطبيق الهندسى المكلف بإدارته فى مدى سرعات دوران تشغيل المحرك ، وذلك على ضوء الاشتراطات والمواصفات الفنية للتطبيق الهندسى والقوانين المحددة لنسب التلوث المسموح بها فى بيئة تشغيل المحرك. بالإضافة إلى معرفة كيفية إجراء الإختبارات والقياسات المعملية الضرورية على مدى جودة أداء المحرك.

محرك الإحتراق الداخلى الجيد (من حيث الأداء فقط) هو المحرك الذى يحقق أعلى قدرة ميكانيكية مع أقل استهلاك ممكن للوقود. ومع الإدراك المتنامى لمدى ما تلحقه محركات الإحتراق من أضرار للبيئة نتيجة مكونات غازات العادم الناتجة عن الحريق يشترط أن تكون نسب مكونات غازات العادم المنبعثة من هذا المحرك فى حدود النسب المسموح بها فى بيئة التشغيل. لذلك يجب تحديد معدلات وأسلوب تغير المعاملات التالية كدوال فى مدى سرعات تشغيل المحرك للحكم على مدى جودة الأداء :

١- القدرة ، القدرة النوعية ، الكفاءة الميكانيكية للمحرك.
٢- الضغط المتوسط الفعال وعزم دوران المحرك.
٣- الاستهلاك النوعى للوقود.
٤- الكفاءة الحرارية والاتزان الحرارى للمحرك.
٥- مكونات غازات الإشعال.

وتؤثر المعاملات التالية بشكل مباشر على منحنيات تغير العوامل السابقة :

١- الكفاءة الحجمية.
٢- نسبة الهواء إلى الوقود.
٣- توقيت فتح وغلق صمامات الهواء والعادم.
٤- توقيت بدء حدوث الاشعال.

وجدير بالذكر أنه توجد عوامل أخرى لتفصيل المحركات خلاف الأداء مثل: نسبه الإتاحه availability، العمر بين العمرات TBO Time between over hauls، نسبة السماح فى تجاوز القدرة المقننة والزمن الأقصى لذلك والعمر الكلى المفيد – وهذه مواصفات تعاقديه يلتزم بها الصانع أو المورد.

٢-٤-١ معاملات الأداء

١- القدرة

يعبر عن القدرة المتولدة داخل اسطوانة المحرك بالقدرة البيانية للمحرك (I. Power) ، وهى أكبر من القدرة المتولدة على طرف عامود الإدارة للمحرك (القدرة الفرملية (B. Power عند نفس سرعة الدوران بمقدار القدرة المفقودة فى احتكاك الأجزاء المتحركة بالمحرك بالإضافة للقدرة المفقودة فى أجزائى طرد غازات العادم وسحب الشحنة من وإلى إسطوانات المحرك. وعلى ضوء ذلك يمكن صياغة المعادلة الآتية للربط بين القدرة البيانية والفرملية :

$$F.\ Power = I.\ Power - B.\ Power \qquad (2\text{-}1)$$

حيث F. Power القدرة المفقودة فى الاحتكاك بالإضافة للقدرة المفقودة فى إجراء السحب والطرد.
من المعلوم أن القدرة تساوى حاصل ضرب عزم الدوران (T) فى السرعة الزاوية (ω) . بالتالى بقياس عزم الدوران للمحرك على طرف عامود الإدارة وقياس سرعة دوران المحرك يمكن تحديد القدرة الفرملية للمحرك بالكيلووات :

$$B.\mathrm{Power} = \mathrm{T}.\,\omega = \mathrm{T}.\,(2.\pi..\mathrm{n}) \qquad (2\text{-}2)$$

حيث
n سرعة دوران المحرك (لفة / ثانية)
T عزم الدوران (كيلو نيوتن . متر)

٢- الكفاءة الميكانيكية

النسبة بين القدرة الفرملية والقدرة البيانية عند سرعة دوران ما للمحرك تعبر عن الكفاءة الميكانيكية للمحرك عند نفس سرعة الدوران. (η_m)

$$\eta_m = B.\ Power\ /\ I.\ Power \qquad (2\text{-}3)$$

القدرة المفقودة فى الاحتكاك تزيد بزيادة سرعة الدوران وبالتالى تقل الكفاءة الميكانيكية للمحرك بزيادة سرعة دورانه.

٣- الضغط المتوسط الفعال وعزم الدوران Mean effective pressure & Torque

الضغط المتوسط الفعال هو مقدار الضغط المتوسط (P_m) الذى لو أثر على المساحة السطحية للمكبس (A) لمسافة تعادل طول شوط المحرك (L_s) يعطى شغل ميكانيكى يعادل الشغل الصافى (W_{net}) المبذول من المحرك أثناء الشوط الفعال.
ويعرف الضغط المتوسط الفعال رياضيا بالصورة التالية :

$$P_m = W_{net} / (A.L_s) \qquad (2\text{-}4)$$

وبمعرفة قيمة الشغل الصافى للدورة (W_{net}) داخل إسطوانة المحرك الذى يعين معمليا وهو ما سوف نتعرض له فى بند قياسات المحرك وحيث أن طول الشوط والمساحة السطحية للمكبس معلومان فإن الضغط المتوسط الفعال يمكن تحديد قيمته بسهولة.

الشغل المبذول أثناء الشوط الفعال عبارة عن كمية الطاقة الحرارية التى تحولت لشغل ميكانيكى من إجمالى الطاقة المحررة نتيجة حرق كتلة الوقود الداخلة أثناء الدورة وحاصل الضرب ($A.L_s$) يعبر عن حجم الشوط لإحدى إسطوانات المحرك (V_s) ، فإن الضغط المتوسط الفعال يعبر مباشرة عن مدى الاستفادة من هذا الحجم. فبفرض أن هناك محركين لهما نفس حجم الشوط والضغط المتوسط الفعال لأحدهما أكبر من الآخر عند نفس ظروف التشغيل ، فإن هذا دليل على أن نسبة الاستفادة من الحجم لهذا المحرك ذى الضغط المتوسط الفعال الأعلى أفضل من الآخر. ويتحقق ذلك إما نتيجة لقدرة ذلك المحرك لحرق كمية أكبر من الوقود لكل دورة أو لارتفاع جودة عملية تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية أثناء الدورة.

حاصل ضرب عدد الأشواط الفعالة للمحرك فى الثانية الواحدة فى الشغل الصافى الناتج عن شوط واحد فعال يعبر عن قدرة المحرك، مع ملاحظة أن عدد الأشواط الفعالة للمحرك الثنائى مساوى لعدد لفات المحرك (n) بينما للمحرك الرباعى الأشواط تكون عدد الأشواط الفعالة مساوى لنصف عدد لفاته وبالتالى :

$$Power = P_m.V_s.n / i \qquad (2\text{-}5)$$

حيث : i =2 للمحرك الرباعى الأشواط ، i =1 للمحرك ثنائى الأشواط

من المناسب هنا توضيح أن كلا من القدرة البيانية والقدرة الفرملية للمحرك يمكن حسابها من المعادلة (2-5) بشرط أن يتم التعويض فى المعادلة بقيمة الضغط المتوسط الفعال المناظر للقدرة المطلوب حسابها. ويطلق على الضغط المتوسط الفعال المناظر للقدرة البيانية (I. Power) مصطلح الضغط المتوسط البيانى الفعال (Imep) بينما يسمى الضغط المناظر للقدرة الفرملية (B. Power) الضغط المتوسط الفرملى الفعال (Bmep) وتؤول المعادلة (٥) إلى :

$$I.\ Power = Imep\ .\ V_s.\ n.\ z / i \qquad (2\text{-}6)$$

$$B.\ Power = Bmep\ .\ V_s.\ n.\ z / i \qquad (2\text{-}7)$$

حيث

I. Power	القدرة البيانية (كيلووات)
B. Power	القدرة الفرملية (كيلووات)
Imep	الضغط المتوسط البيانى الفعال (كيلو باسكال)
Bmep	الضغط المتوسط الفرملى الفعال (كيلو باسكال)
V_s	حجم الشوط للإسطوانة المحرك (م^{٣})
n	سرعة دوران المحرك (لفة / ثانية)
z	عدد إسطوانات المحرك

من المعادلتين (2-2, 2-7) يمكن استنتاج العلاقة بين عزم دوران المحرك والضغط المتوسط الفرملى الفعال حيث :

$$T = Constant.\ Bmep.\ V_s \qquad (2\text{-}8)$$

وبالتالى يتوقف عزم دوران المحرك عند ثبوت الضغط المتوسط الفعال على حجم الشوط للمحرك ويتم قياس عزم دوران المحرك معمليا.

٤- القدرة النوعية

تعرف القدرة النوعية بأنها مقدار القدرة الفرملية لكل وحدة حجم إزاحة للمحرك

$$Specific\ output = B.\ Power / (V_{st}.\ Z) = Bmep\ .\ n \qquad (2\text{-}9)$$

وهى كما يتضح من المعادلة دالة فى كل من الضغط المتوسط الفرملى الفعال وسرعة دوران المحرك. ويمكن رفع قيمتها إما بزيادة سرعة دوران المحرك أو بزيادة قيمة الضغط المتوسط الفرملى الفعال. وجدير بالذكر أن زيادتها عن طريق زيادة سرعة الدوران يؤدى إلى زيادة الإجهادات الميكانيكية على أجزاء المحرك.

٥- الكفاءة الحجمية

تعبر الكفاءة الحجمية (η_v) عن مدى جودة عملية إمتلاء حجم الإزاحة للمحرك بالهواء وهى نسبة كتلة الهواء الفعلية التى دخلت إسطوانة المحرك ($m_{act.}$) أثناء شوط السحب إلى كتلة الهواء الجوى التى يمكن أن تشغل حجم الإزاحة للمحرك عند ظروف الهواء الجوى من الضغط ودرجة الحرارة ($m_{atm.}$) .

$$\eta_v = m_{act.} / m_{atm.} \qquad (2\text{-}10)$$

وتتوقف قيمة الكفاءة الحجمية على توقيت فتح وغلق الصمامات وسرعة الدوران.

٦- المعدل النوعى لاستهلاك الوقود

هو كتلة الوقود بالكيلوجرام أو بالجرام المستهلكة لإنتاج قدرة مقدارها ١ كيلووات لمدة ساعة ويمكن أن ينسب للقدرة البيانية أو القدرة الفرملية للمحرك ويسمى فى الحالة الأولى المعدل النوعى البيانى (isfc) وفى الثانية المعدل الفرملى لاستهلاك الوقود (bsfc) .

$$isfc = m_f \text{ in (kg / hr) / I. Power in (kw)} \quad (2\text{-}11)$$

= Indicated specific fuel consumption

$$bsfc = m_f \text{ in (kg / hr) / B. Power in (kw)} \quad (2\text{-}12)$$

= Brake specific fuel consumption

ويعبر عن مدى كفاءة عملية تحرير الطاقة من الوقود المستخدم وتحولها إلى شغل ميكانيكى.

٧- الكفاءة الحرارية والاتزان الحراري Thermal efficiency and thermal balance

الكفاءة الحرارية للمحرك عبارة عن نسبة القدرة المتولدة من المحرك نتيجة حرق معدل كتلة من الوقود (m_f) داخل المحرك إلى طاقة الترابط الكيميائى التى تحتويها تلك الكتلة.

$$\eta_{th} = \text{Power} / (m_f.\ CV) \quad (2\text{-}13)$$

و تكون هذه النسبة ممثله للكفاءة الحرارية البيانية ($\eta_{th,i}$) إذا تم التعويض عن قيمة القدرة فى المعادلة (١٣) بالقدرة البيانية و تكون ممثلة للكفاءة الحرارية الفرملية ($\eta_{th,b}$) إذا تم التعويض بالقدرة الفرملية.

$$\eta_{th,i} = \text{I. Power} / (m_f.\ CV) \quad (2\text{-}14)$$

$$\eta_{th,b} = \text{B. Power} / (m_f.\ CV) \quad (2\text{-}15)$$

حيث

m_f	معدل كتلة الوقود	(كيلوجرام / ثانية)
CV	القيمة الحرارية الصغرى للوقود	(كيلو جول / ثانية)
Power	القدرة	(كيلووات)

الطاقة الداخلة للمحرك والتى سبق وعبرنا عنها بطاقة الترابط الكيميائى لكتلة الوقود المستهلكة يستفاد بجزء منها فقط وهو الجزء الذى تحول إلى قدرة ميكانيكية على طرف عامود الإدارة أما الباقى فيغادر المحرك كطاقة مفقودة. وبشكل عام يمكن تقسيم هذه الطاقة المفقودة إلى كمية من الطاقة تحمله غازات العادم وكمية تمتص بواسطة وسيط التبريد للمحرك والباقى يخرج فى صورة حرارة منتقلة بالإشعاع إلى الوسط المحيط بالمحرك.

ويتم تحديد هذه الكميات معمليا وهو ما يطلق عليه مصطلح الميزانية أو الاتزان الحرارى للمحرك بغرض التعرف على قيمة كل منها للبحث فى سبل تخفيض قيمة الطاقة المفقودة.

٨- نسبة الهواء إلى الوقود

هى النسبة الفعلية لكتلة الهواء إلى كتلة الوقود فى خليط الهواء والوقود داخل اسطوانة المحرك ويرمز لها بـ ($(A / F)_{act.}$) بينما يطلق على كتلة الهواء اللازمة لحرق ١ كيلوجرام من الوقود احتراقا كيماويا صحيحا ، النسبة الصحيحة للهواء إلى الوقود ($(A / F)_{stoic.}$) . وتحدد بقياس كل من كتلة الهواء وكتلة الوقود معمليا.

ومن المفيد هنا تعريف مصطلح نسبة الهواء وهو عبارة عن خارج قسمة النسبة الفعلية إلى النسبة الصحيحة

$$\varphi = (A / F)_{act.} / (A / F)_{stoic.} \qquad (2\text{-}16)$$

وتكون هذه النسبة فى حدود الواحد لمحركات البنزين بينما تبلغ ١,٤ لمحركات الديزل فى ظروف التشغيل العادية. وتؤثر هذه النسبة على جودة عملية تحرر الطاقة الحرارية من الوقود ومكونات غازات العادم.

٩- توقيت فتح وغلق الصمامات

يؤثر توقيت فتح وغلق كل من صمام العادم والشحنة على أداء المحرك وخاصة على الكفاءة الحجمية له ومن ثم على تحديد سرعة العزم الأقصى للمحرك وعادة ما يحدد صانع المحرك التوقيت المناسب لفتح وغلق كل من الصمامين وينبغى على مستخدمى المحركات التقيد بالقيم المعطاة فى كتيبات تشغيل وصيانة المحرك.

أ- توقيت فتح وغلق صمام الشحنة (السحب)

يبدأ فتح صمام السحب عموما قبل النقطة الميتة العليا بعدد مناسب من درجات عمود المرفق حسب سرعة دوران المحرك وذلك لضمان فتح الصمام بالكامل مباشرة عقب وصول المكبس للنقطة الميتة العليا.

عند تحديد توقيت غلق صمام السحب يراعى استغلال طاقة القصور الذاتى للشحنة المتدفقة للمحرك لدخول أكبر كمية متاحة وذلك لرفع الكفاءة الحجمية للمحرك ، وبالتالى يغلق الصمام بعد وصول المكبس للنقطة الميتة العليا وبدء مشوار الهبوط فى اتجاه النقطة الميتة السفلى بعدد من درجات عمود المرفق يتناسب طرديا مع سرعة دوران المحرك. وبالتالى فإن توقيت الفتح المناسب لسرعات الدوران المنخفضة لا يكون مناسبا على الإطلاق لسرعات الدوران المرتفعة وعادة ما يختار صانع المحرك توقيت غلق متوسط للصمام يضمن به أعلى كفاءة حجمية متاحة فى مدى سرعات تشغيل المحرك.

ب- توقيت فتح وغلق صمام العادم (الطرد)

إذا ترك صمام العادم مغلقا حتى يصل المكبس إلى النقطة الميتة السفلى أثناء هبوطه فى نهاية شوط القدرة فإن ذلك يعنى أن كل كمية غازات العادم سوف تطرد من المحرك بالكامل تحت تأثير حركة المكبس أثناء شوط الطرد ، مما يتطلب قدرة ميكانيكية عالية لطرد غازات العادم من المحرك وانخفاض كفاءة عملية طرد غازات العادم. وبالتالى يتم فتح صمام العادم قبل وصول المكبس للنقطة الميتة السفلى فى نهاية شوط القدرة حتى يتثنى طرد جزء من غازات العادم تحت تأثير فرق الضغط داخل الإسطوانة والضغط الجوى. وللاستفادة من قوى القصور الذاتى لغازات العادم المتدفقة خارج المحرك يغلق صمام العادم بعد وصول المكبس للنقطة الميتة العليا وبداية شوط السحب.

١٠- توقيت بدء الحريق

يتم إختيار زاوية بدء الحريق للمحرك للحصول على أقصى كفاءة حرارية ممكنة للمحرك بشرط أن تكون نسب غازات العادم الضارة المنبعثة من المحرك فى حدود النسب المسموح بها قانونيا. ومن المعلوم أن أقصى كفاءة ممكنة للمحرك تتحقق ببدء الحريق عند زاوية معينة تتوقف على سرعة المحرك ونوع الوقود المستخدم قبل النقطة الميتة العليا أثناء صعود المكبس فى شوط القدرة ، حيث تصل درجة الحرارة داخل المحرك لأقصى قيمة لها ، مما يعنى إرتفاع نسب غازات العادم الضارة وخاصة الأكاسيد الفوق نيتروجينية المنبعثة من المحرك.

وعادة ما يتم تجهيز المحرك بتجهيزات ميكانيكية تنظم توقيت الحريق حسب ظروف تشغيل المحرك ومن الضرورى الالتزام بتوصيات كتيبات التشغيل والصيانة الخاصة بالمحرك فى هذا الشأن.

١١- مكونات غازات العادم

يفترض نظريا فى حالة توفر نسبة الهواء إلى الوقود الصحيحة داخل اسطوانة المحرك أن يحترق الوقود بالكامل ، وينتج عن الحريق غازات عادم تتكون من ثانى أكسيد الكربون CO_2 وبخار ماء H_2O ونيتروجين الهواء N_2 . أما الواقع العملى للمحركات فيختلف كثيرا عن ذلك لأسباب عديدة أهمها :

١- استحالة تحقيق التجانس الكامل المطلوب لخليط الهواء والبنزين داخل اسطوانة المحرك ويؤدى ذلك إلى وجود مناطق داخل الاسطوانة يتم الحريق بها بنسبة هواء زائد فى حين مناطق أخرى يتم الحريق بها بنسبة هواء ناقص ، وبالتالى تحتوى غازات العادم لهذا النوع من المحركات على نسبة من غاز أول أكسيد الكربون CO ونسبة من الأكسجين O_2 .

٢- استخدام خليط غنى بالوقود فى بعض ظروف تشغيل محرك بنزين ، مثل حالة بدء الإدارة والتسخين واللاحمل وتعجيل المحرك ، بالإضافة لوجود الأسطح الباردة داخل إسطوانة المحرك كالسطح العلوى لغرفة الإحتراق والأسطح التى يمكن لموجه اللهب الوصول إليها ، مما يؤدى إلى احتواء غازات العادم على نسبة من الوقود غير المحترق.

٣- طبيعة الخليط فى محركات الديزل (خليط غير متجانس) تؤدى عند زيادة تحميل المحرك إلى تكون جسيمات من الكربون ذى التركيب الجرافيتى تخرج مع غازات العادم فى صورة دخان أسود كثيف.

٤- استخدام الرصاص فى رفع رقم الأوكتان للبنزين يؤدى إلى خروج نسبة من أكاسيد الرصاص فى نواتج عادم محركات البنزين.

٥- حدوث تفاعل للنيتروجين مع الأكسجين فى درجات الحرارة العالية حوالى ١١٠٠ ° م مكونا أكاسيد نيتروجينية NO_x . وبالتالى تحتوى غازات العادم سواء لمحرك ديزل أو بنزين على نسب من أكاسيد النيتروجين.

على ضوء ما سبق يتضح أن نواتج إحتراق محركات الإحتراق الداخلى تتركب من عدد كبير من المركبات الكيميائية بعضها ضار جدا بالإنسان والبيئة مما يوجب العمل على تخليص نواتج الإحتراق منها نهائيا أو على الأقل خفض معدلاتها إلى أقل قيمة ممكنة.

فى الواقع لا يوجد معيار حقيقى مبنى على أسس طبية أو بيولوجية يمكن على ضوئه تحديد نسب الأمان لمكونات غازات العادم المنبعثة من محركات الإحتراق الداخلى. وتعتمد القوانين التى وضعت لتحديد النسب المسموح بها فى دول العالم المتقدم على قياسات عملية تجرى للمحركات لتحديد أفضل نسبة ممكنة ويمكن على ضوئها تحديد نسب مستقبلية مطلوبة بهدف دفع الأبحاث لاتجاه معين يخدم أغراض خفض نسب التلوث. والجدول الآتى يوضح النسب المقاسة للولايات المتحدة الأمريكية للسنوات من ١٩٧٥ إلى ١٩٧٨ والقيم المتوقعة فى هذا الوقت للسنوات ١٩٧٩ و ١٩٨٠ بالنسبة لمحركات سيارات الركوب.

سنة القياس	١٩٧٥	١٩٧٦	١٩٧٨/١٩٧٧	١٩٨٠/١٩٧٩
أسم المركب	مقدار المركب بالجرام عند تشغيل السيارة لمسافة ميل (١,٦٠٩ كيلومتر)			
وقود غير محترق HC	٢,٠	١,٥	١,٥	٠,٤١
أول أكسيد الكربون CO	٢٠,٠	١٥,٠	١٥,٠	٣,٤
أكسيد النيتروجين NO_x	٣,١	٣,١	٢	٢,٠

وبشكل عام يمكن أن تؤخذ التوصيات الآتية لخفض نسب الملوثات فى غازات العادم :

١- استخدام بنزين خالى من الرصاص لمحركات البنزين.
٢- استخدام وقود خالى من الكبريت لمحركات الديزل.
٣- استخدام وحدات حريق غازات العادم Thermal reactor كجزء من مجموعة العادم للتخلص من أكبر نسبة من أول أكسيد الكربون والوقود الغير محترق.
٤- استخدام وحدات التخلص من الأكاسيد النيتروجينية Catalyst .
٥- الالتزام بإجراء عمليات الصيانة فى موعدها طبقا لكتيبات الصيانة الدورية للمحرك. وهذا الألتزام له تأثير مباشر على أداء المحرك وبالأخص المحافظه على القيمة التعاقدية للأستهلاك.

٢-٤-٢ قياسات معاملات الأداء

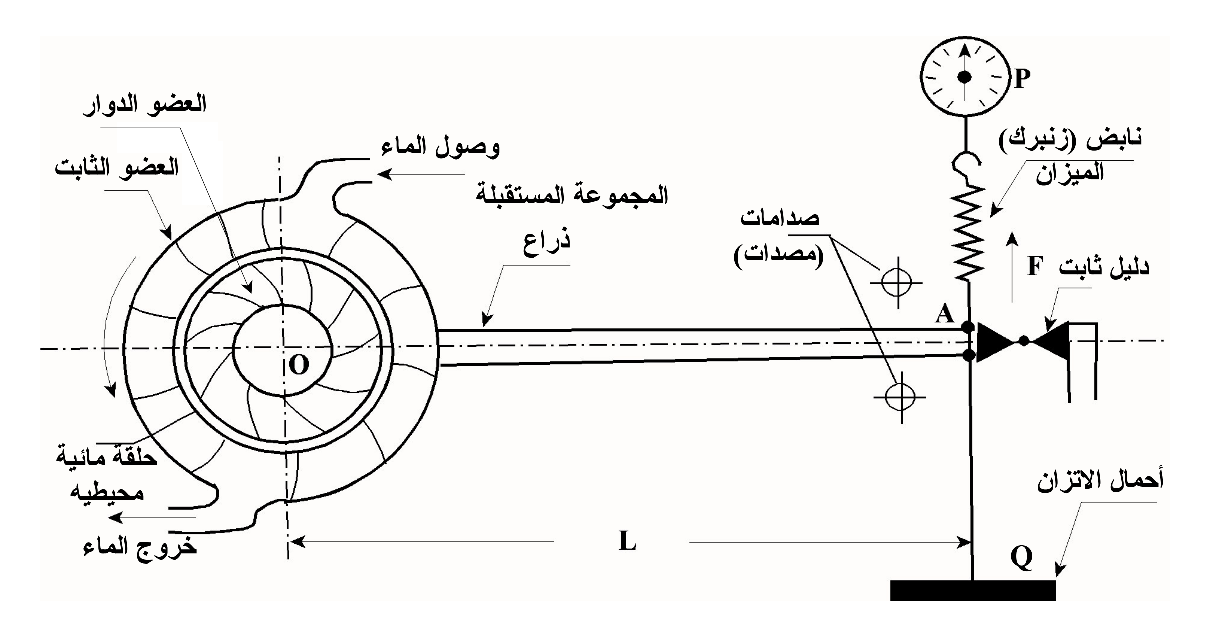
للتعرف على مدى جودة أداء محرك إحتراق داخلى نحتاج لإجراء قياسات توفر معلومات كافية لتعيين منحنيات الأداء السابق الإشارة إليها وفيما يلى نتعرف على أساليب إجراء تلك القياسات.

٢-٤-٢-١ قياسات تعيين عزم الدوران

يتم قياس عزم دوران المحرك باستخدام جهاز الفرملة حيث يتم تركيبه مباشرة مع عامود الإدارة الخارج من المحرك ويستخدم لذلك الفرامل الهيدروليكية أو الفرامل الكهربائية ويجب أن تكون قيمة أقصى عزم خارج من المحرك متوافقة مع أقصى قراءة يمكن قياسها من الفرملة المستخدمة وذلك عند مختلف سرعات المحرك. ويجب كذلك أن تكون الوصلة الميكانيكية بين الفرملة والمحرك مناسبة لقدرة المحرك وسرعته مع توصيل هذه القدرة إلى الفرملة بأقل فقد ممكن فى القدرة أو عدم اتزان.

شكل (٢-٢) يبين تركيب ونظرية عمل الفرملة الهيدروليكية "فرملة فرود" تتكون الفرملة من عضو دوار عبارة عن ريش مضخة مائية وعضو ثابت ممثل بريش مثبتة على غلاف الفرملة من الداخل. يتصل العضو الدوار عبر قارنة نقل حركة بحدافة المحرك بينما يكون الغلاف الحامل للريش الثابتة حر الحركة حول محور دوران العضو الدوار.

أثناء تشغيل المحرك لقياس عزم دورانه يتدفق الماء بمعدل مناسب للحمل المطلوب تشغيل المحرك عنده فيملأ الماء ريش العضو الدوار والفراغ الحلقى بين العضو الدوار والعضو الثابت. تقاوم الريش الثابتة حركه الماء الذى يعمل على تحريك العضو الثابت حركه زاوية الذى بدوره ينقل هذه الحركة إلى ذراع العزم المثبت بغلاف الفرملة والمتصل بطرفه الحر بثقل مناسب وميزان زنبركى.



شكل (٢-٢) الفرملة الهيدروليكية "فرملة فرود"

ويحسب العزم من حاصل ضرب قراءة الميزان وطول ذراع الفرملة بوحدات الكيلوجرام . متر أو الكيلو نيوتن . متر .

وتستخدم الفرملة الكهربية أو ما يطلق علية الديناموميتر الكهربى فى الوقت الحالى بكثرة فى مجال قياسات عزم دوران المحرك لما تتمتع به من دقة فى القياسات بالإضافة لإتساع مدى القياس لها ولقدرتها الخاصة على قياس عزوم كبيرة نسبيا عند سرعات منخفضة.

٢-٤-٢-٢ قياسات تعيين القدرة الفرملية

تستخدم نفس أجهزة قياس العزم فى تقدير قيمة القدرة الفرملية للمحرك. ويتم ذلك بضرب قيمة العزم المقاس فى السرعة الزاوية لعامود مرفق المحرك وتحسب السرعة الزاوية من ضرب سرعة دوران المحرك (لفة / ثانية) المقاسة عند قياس العزم فى ضعف النسبة التقريبية ط (حيث ط = ٣,١٤٢٨٥).

٢-٤-٢-٣ قياسات تعيين القدرة البيانية

هناك عدة طرق مختلفة لتحديد القدرة البيانية للمحرك منها:

- إختبار مورس.
- إختبار خط ويلنز.

أ- اختبار مورس

ويعتبر هذا الاختبار هو أسهل الاختبارات التى تتم فى هذا المجال ويتم لأى نوع من المحركات متعددة الاسطوانات سواء إشعال بالشرر أو إشعال بالضغط بشرط ثبات سرعة دوران المحرك أثناء الاختبار. ويتم الاختبار طبقا للخطوات الآتية :

١- يتم إدارة المحرك لمدة كافية لضمان استقرار المحرك عند السرعة المراد اختبار المحرك عندها، ثم عن طريق فرملة قياس القدرة يتم قياس القدرة الفرملية للمحرك.

٢- يتم فصل شمعة الاحتراق للاسطوانة الأولى إذا كان المحرك بنزين أو الرشاش إذا كان المحرك ديزل ونتيجة لذلك سوف تنخفض سرعة دوران المحرك وبالتالى يجب تخفيض حمل الفرملة حتى تصل سرعة دوران المحرك للسرعة فى الخطوة (١) .
٣- تقاس قراءة فرملة تحديد القدرة الفرملية للمحرك ونلاحظ هنا أن قراءة جهاز الفرملة تسجل القدرة الفرملية للاسطوانات التى يتم بـه الحريق مطروحا منها القدرة المفقودة فى الاحتكاك للاسطوانة المفصولة حيث أنها تتحرك مع باقى الاسطوانات.
٤- بطرح القراءة المسجلة فى الخطوة (٣) من القراءة المسجلة فى الخطوة (١) نحصل على القدرة البيانية للإسطوانة المفصولة.
٥- بتكرار الخطوات من (٢) إلى (٣) لكل إسطوانات المحرك على التوالى نحصل على القدرة البيانية لكل اسطوانة من اسطوانات المحرك.

ب- اختبار خط ويلنز

يتم هذا الاختبار لمحركات الديزل فقط بشرط ثبات السرعة أيضا أثناء الاختبار. ويتم الاختبار طبقا للخطوات التالية :

١- يتم قياس وتسجيل القدرة الفرملية للمحرك عند عدة أحمال مختلفة بشرط تثبيت سرعة المحرك للأحمال المختلفة.
٢- فى كل حالة تحميل يتم قياس وتسجيل معدل استهلاك الوقود للمحرك.
٣- يتم توقيع القيم المقاسة للقدرة الفرملية على الإحداثى الأفقى لورقة رسم بيانى بينما تسجل على الاحداثى الرأسى معدلات استهلاك الوقود المناظرة للقدرة.
٤- نرسم أقرب خط مستقيم يمر بنقط القياس. تقاطع الخط المستقيم مع الاحداثى الرأسى يمثل معدل استهلاك الوقود عند حالة اللاحمل.
٥- نمد الخط المستقيم فى الاتجاه السالب لمحور القدرة حتى يتقاطع معه. طول المسافة على المحور الأفقى من نقطة تلاقى الخط المستقيم مع الاتجاه السالب للمحور الأفقى ونقطة اللاحمل تمثل القيمة العددية للقدرة المفقودة فى الاحتكاك عند سرعة إجراء التجربة.

٢-٤-٢-٤ قياسات تعيين الضغط المتوسط الفعال

من المعلوم أن شغل الدورة الحرارية للمحرك هو المساحة داخل المنحنى المغلق للدورة المرسوم على إحداثيات الضغط والحجم.

ويرسم هذا المنحنى بقياس الضغط داخل اسطوانة المحرك كدالة فى زوايا عمود المرفق أو تغير حجم الإزاحة للمحرك. ومن المعادلة (4-2) يعين قيمة الضغط المتوسط البيانى الفعال للمحرك.

ويقاس الضغط داخل اسطوانة المحرك بواسطة بلورة قياس ضغط Pieso Pressure Transducer وهى بلورة من مادة خاصة لها خواص كهربية عند تعرض سطحها لضغط تتولد على السطح الآخر إشارة كهربية تتناسب شدتها مع قيمة الضغط ويتم استقبال الإشارة بواسطة مستقبل يعمل على تقويتها وتصديرها إلى وحدة تخزين إلكترونية أو حاسب آلى حيث يتم ترجمتها إلى قيم الضغط المتوسط البيانى الفعال بالوحدات المطلوبة.

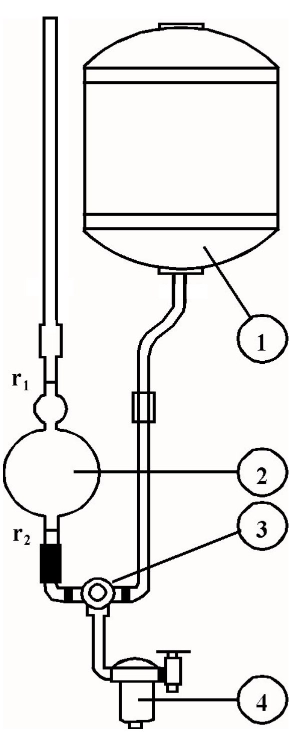
وبمعرفة الضغط المتوسط البيانى الفعال يمكن رسم ما يسمى بالطاقة البيانية للمحرك وهى عبارة عن مستطيل قاعدته تمثل حجم الشوط للمحرك وإرتفاعه يمثل الضغط المتوسط البيانى الفعال.

ويمكن بمعرفة قيمة الكفاءة الميكانيكية للمحرك حساب قيمة الضغط المتوسط الفرملى الفعال حيث

$$Bmep = Imep \cdot \eta_m \qquad (2\text{-}17)$$

٢-٤-٢-٥ قياسات تعيين المعدل النوعى لاستهلاك الوقود

لتحديد المعدل النوعى لإستهلاك الوقود يتم قياس كلا من القدرة الفرملية ومعدل استهلاك الوقود وبالتعويض فى المعادلة يتم حساب المعدل النوعى لاستهلاك الوقود وفيما يلى كيفية قياس معدل استهلاك الوقود معمليا.



شكل (٢-٣) جهاز قياس معدل استهلاك الوقود
١- خزان رئيسى. ٢- مخبار مدرج. ٣- صنبور. ٤- فلتر.

شكل (٢-٣) يوضح تركيب أحد أجهزة قياس استهلاك الوقود . يتكون الجهاز من خزان الوقود (١) ، خزان إضافى للوقود (٢) ، وهو عبارة عن مخبار مدرج من الزجاج الشفاف متصل بالخزان الرئيسى للوقود والمحرك بواسطة صنبور ذى ثلاثة مسارات (٣) ، أحدها لملئ المخبار الزجاجى بالوقود من الخزان الرئيسى والباقى لتشغيل المحرك عبر المخبار الزجاجى أو الخزان الرئيسى. ويتم قياس معدل الاستهلاك الحجمى للوقود بقياس الزمن اللازم لاستهلاك حجم الوقود بين العلامتين r_1 , r_2 على المخبار المدرج مع حساب الزمن اللازم لذلك. ويحسب معدل الاستهلاك الوزنى بضرب معدل الاستهلاك الحجمى فى الكثافة النسبية للوقود.

٢-٤-٢-٦ قياسات تعيين معدل استهلاك الهواء

من المعلوم أن تدفق الهواء للمحرك تدفق غير مستقر على شكل نبضات مما يتطلب أجهزة خاصة لقياسه. ويعتبر أسلوب استخدام صندوق الهواء Air Box هو أقدم وأبسط الطرق المستخدمة لذلك، وفيها يتم توصيل مشعب السحب للمحرك بصندوق حجمه حوالى ٥٠ مرة حجم الشوط للمحرك مزود بفوهة يمر عبرها الهواء الجوى إلى الصندوق ومنه إلى المحرك ، حيث يعمل الصندوق على إخماد نبضات التدفق.

ويقاس معدل تدفق الهواء للصندوق عبر الفوهة بواسطة قياس الفرق فى الضغط بين الهواء الجوى والضغط داخل الصندوق الذى يقاس باستخدام مانوميتر مائى من المعادلة التالية :

$$m_{air} = C_d \,.\, A \quad 2 \,.\, g \,.\, H \,.\, \rho_w \,.\, \rho_{air} \qquad (2\text{-}18)$$

حيث

m_{air}	معدل تدفق الهواء	كيلوجرام / ثانية
g	عجلة الجاذبية الأرضية	متر / ثانية^{٢}
C_d	معامل تصرف الفوهة	
A	مساحة مقطع الفوهة	متر^{٢}
H	الفرق بين سطحى الماء فى المانوميتر	متر
ρ_w	كثافة الماء المستخدم فى المانوميتر	كيلوجرام / متر^{٣}
ρ_{air}	كثافة الهواء الجوى	كيلوجرام / متر^{٣}

وتعتبر أجهزة القياس المعروفة باسم Viscous flow meter هى أوسع الأجهزة استخداما فى مجال قياس معدل تصرف الهواء للمحركات. وتعمل هذه الأجهزة على إخماد نبضات الهواء المطلوب قياسه داخل جهاز القياس عن طريق إمرار الهواء فى مسارات على شكل خلية النحل الغرض منها تحويل التدفق داخل الجهاز إلى تدفق رقائقى. ويحتوى كتيب تشغيل الجهاز على منحنى معايرة الجهاز الذى على ضوئه يمكن حساب معدل تدفق الهواء للمحرك كدالة فى فرق الضغط على طرفى الخلية.

٢-٤-٢-٧ قياسات نسب مكونات غازات العادم

تستخدم لتحليل نسب تركيز مكونات غازات العادم عديد من الأجهزة المتطورة وسوف نستعرض هنا أهمها وأوسعها إنتشارا وهى :

١- جهاز مؤين اللهب

يسمى هذا الجهاز (FID) اختصارا للمصطلح Flame Ionization Detector ويستخدم فى تحديد نسبة تركيز الوقود الغير محترق فى عادم المحرك.

ويتم بواسطة هذا الجهاز حرق الوقود الموجود فى العادم وقياس تأين اللهب الناتج عن الحريق الذى يتناسب مع تركيز الوقود فى غازات العادم.

يتركب الجهاز من : وسيلة إشعال الوقود وهى عبارة عن بوق من اللهب الناتج عن حرق الهيدروجين. وتم إختيار الهيدروجين حيث أن تأين اللهب الناتج عنه ضعيف جدا ولا يعتد به بالمقارنة بالتأين الناتج عن حرق الوقود الهيدروكربونى. يحاط بوق اللهب بمجمع للأيونات متصل بوحدة قياس شدة التأين.

تعتمد وحدة قياس شدة التأين على عدد ذرات الكربون فى الوقود الهيدروكربونى المارة فى المؤين فى وحدة الزمن ، وبالتالى قراءة الجهاز عند مرور كمية من الهكسان C_6H_{14} تكون ضعف قراءة الجهاز عند مرور نفس الكمية من البروبان C_3H_8 . وعادة تتم معايرة الجهاز للهكسان ولا تتأثر قراءة الجهاز بالمركبات الأخرى مثل CO_2 , CO الموجودة فى غازات العادم. ويعتبر الجهاز أسرع وأدق وسيلة معروفة لقياس نسبة الوقود الغير محترق.

٢- محلل الغاز بالأشعة الحمراء

يسمى هذا الجهاز (NDIR) اختصارا للمصطلح Non Dispersive Infra Red Analyzer وتعتمد نظرية عمله على قدرة كل مركب كيميائى على امتصاص ضوء بطول موجى محدد ويستخدم الجهاز فى تحليل أى مركب كيميائى تكون حدود امتصاصه للضوء واضحة.
يتكون الجهاز من :

- أنبوبتين متوازيتين تملأ الأولى بخليط غازات العادم المراد معرفة نسبة تركيز مركب ما به وتسمى أنبوبة العينة وتملأ الأنبوبة الأخرى بغاز عديم الامتصاص للضوء فى مدى امتصاص الغاز المراد قياس نسبة تركيزه ويسمى أنبوب المرجع أو أنبوب الأساس.
- مصدران للأشعة الحمراء متساويا الطول الموجى يوضعان بحيث يقابل كلا منهما أحدى الأنبوبتين على امتداد محور الأنبوبة.
- المستقبل وهو عبارة عن جسم معدنى مقسوم لغرفتين متجاورتين يفصل بينهما لوح رقيق مرن من المعدن "رق" تملأ الغرفتان بغاز نقى من نفس الغاز المراد تحديد نسبة تركيزه عند نفس الضغط ، وتغلق الغرفتان بإحكام لمنع تسرب الغاز مع تشكيل نافذة زجاجية بكل غرفة ويوضع المستقبل بحيث تستقبل إحدى النوافذ الزجاجية الضوء المار عبر أنبوبة العينة وتستقبل النافذة الأخرى الضوء المار عبر أنبوبة المرجع.

٢-٤-٢-٨ قياس جودة حلقات الضغط (الشنابر) للمكبس

يتم قياس جودة الشنابر بقياس الضغط فى نهاية شوط الإنضغاط داخل اسطوانة المحرك وذلك بتركيب مقياس للضغط فى موضع شمعة الإحتراق أو الرشاش ويدار المحرك بواسطة محرك بدء الإدارة. إذا لوحظ انخفاض الضغط عن ضغط الكبس للمحرك دل ذلك على وجود تآكل بالشنابر أو المكبس أو جسم الاسطوانة. وقد يكون السبب تسرب من صمام العادم بسبب عدم ارتكازه على قاعدته أثناء الغلق أو تسرب من جوان رأس الاسطوانة أو شرخ فى رأس الاسطوانة. ولتحديد طبيعة العطب تعاد التجربة السابقة بعد سكب قليل من الزيت عن طريق فتحة شمعة الإحتراق أو الرشاش فإذا ارتفع ضغط الزيت إلى صورة مرضية دل ذلك على انخفاض جودة الشنابر نتيجة لتآكلها أو تآكل جسم الاسطوانة أو المكبس وفى هذه الحالة ينبغى فك مجموعة الاسطوانة والمكبس وتغيير الشنابر.

٢-٤-٢-٩ اختبار جودة الفلاتر

يتم إختبار فلاتر الزيت يدويا بلمسة باليد بعد إدارة المحرك بفترة قصيرة فإذا كان الفلتر ساخنا دل ذلك على مرور الزيت به أما إذا كان باردا دل ذلك على انسداده ومرور الزيت دون تنقية عبر المسار الفرعى للفلتر نتيجة انسداد الفلتر ويلزم عند ذلك تغيير الفلتر.

وهناك أسلوب آخر لاختبار الفلتر يتم عن طريق فك وصلة خروج الزيت وملاحظة تدفقه. وعموما من الأفضل تغيير فلاتر الزيت بصفة منتظمة حسب إرشادات كتيب التشغيل.

٢-٤-٢-١٠ قياس الضوضاء

الوضع الطبيعى عند تشغيل المحرك أن تصدر عنه ضوضاء منتظمة فى حدود المسموح به بالنسبة للإنسان وتعتبر محركات البنزين أقل ضوضاء من محركات الديزل كذلك محركات الديزل ذات الحقن الغير مباشر أقل ضوضاء من المحركات ذات الحقن المباشر. وعند صدور ضوضاء غير طبيعية من المحرك يدل ذلك على وجود خلل ما ويمكن إذا تم تحديد موضعه ونوعيته معرفة طبيعة الخلل وأسبابه ومن ثم اتخاذ خطوات إزالته.

تستخدم الساق السمعية فى تحديد نوعية الصوت وموضعه وهى ساق معدنية تشبه سماعة الطبيب من ناحية أسلوب الاستخدام.

فيما يلى قائمة بالأصوات الغير طبيعية التى تصدر نتيجة لعطب ما يصيب المحرك وكيفية إزالتها :

١- صوت الصمام ورافع الصمام

صوت منتظم "كلك" يزيد بزيادة السرعة. يسمع عند تقريب الساق السمعية من مجموعة الصمامات وعادة ما يكون بسبب زيادة خلوص الصمام بقدر كبير ويزول بضبط خلوص الصمام.

٢- صوت طرق الشرار "الصفع"

صوت يسمع فى توقيت زيادة سرعة دوران محرك البنزين. ويكون سببه استخدام وقود ذى رقم أوكتين منخفض بالنسبة للمحرك أو وجود رواسب كربونية داخل الاسطوانة يؤدى إلى زيادة نسبة الانضغاط.

٣- أصوات ذراع التوصيل

صوت يشبه الطرق يكون ملحوظا عند دوران محرك الديزل بسرعة منتظمة ويزداد عند زيادة معدل استهلاك الوقود. ويكون نتيجة تآكل فى كراسى محور المرفق أو عدم دقة تركيب ذراع التوصيل فى مكانه أو بسبب نقص كمية زيت التزييت بالكرسى أو وجود خلوص كبير للزيت بالكرسي.

٤- صوت محور المكبس

صوت يشبه الصمام ورافعه ويتميز عنه بسماع صوت معدنى مزدوج ويكون الصوت واضحا فى حالة اللاحمل وخاصة مع تقديم توقيت الشرر. ويتم تحديد الاسطوانة التى بها الخلل بنفس الطريقة السابقة "أصوات ذراع التوصيل" مع ملاحظة أن الصوت يقل هنا عند فصل شمعة الإحتراق الخاصة بالاسطوانة التى بها الخلل ويكون الصوت هنا ناتج عن تآكل محور المكبس أو تآكل الجلبة أو نقص فى زيت المحور.

٥- صوت حلقة المكبس

يشبه هذا الصوت أيضا صوت الصمام ورافعه وينتج عن تآكل حلقات المكبس أو ضعف قوة شد الحلقة أو تآكل بجسم الإسطوانة.وللتأكد من سبب هذا الصوت يمكن إجراء تجربة جودة الشنابر وذلك بوضع كمية صغيرة من الزيت ذى اللزوجة المرتفعة من خلال فتحة شمعة الإحتراق ثم إدارة المحرك فإذا انخفضت الضوضاء دل ذلك على أن الصوت فعلا من حلقات المكبس.

٦- خبط المكبس

صوت مفزع يشبه صوت الجرس نتيجة تحرك المكبس من جانب الاسطوانة إلى الجانب الأخر لها وارتطام المكبس بجسم الاسطوانة أثناء الهبوط. فإذا كان الصوت مسموعا فقط أثناء تسخين المحرك فلا يعتد به أما إذا سمع هذا الصوت فى جميع حالات تشغيل المحرك دل ذلك على تآكل الاسطوانة أو المكبس.

٧- طرق عامود المرفق

صوت يشبه صوت طرق معدنى ثقيل وخاصة أثناء زيادة تحميل المحرك. فإذا كان الصوت منتظما دل ذلك على تآكل فى الكراسى الرئيسية لعامود المرفق. أما إذا كان الصوت متقطعا وحادا دل ذلك على وجود تآكل فى كراسى الدفع الجانبية ويظهر هذا الصوت بالوضوح عند فصل وتعشيق القابض.

٢-٤-٢-١١ إرشادات إجراء قياسات المحرك

عند إجراء قياسات المحرك ينبغى أخذ الإرشادات الآتية فى الاعتبار :

- عند استخدام أى من أجهزة القياس يجب الالتزام بحدود الخطأ المسموح به والوارد فى الكتيب الخاص بالتشغيل والمحدد من قبل الصانع وبدون إضافة أى تقدير للخطأ البشرى المحتمل عند استخدام هذا الجهاز أو أى احتمالات أخرى لأى خطأ غير الوارد من صانع الجهاز.
- لا يتم تسجيل أى بيانات حتى يتم استقرار قيم قراءة عزم الدوران والسرعة ودرجات الحرارة وذلك بدرجة دقة لا تتعدى ١ % من القيم المقاسة ولمدة دقيقتين متتاليتين على الأقل.
- سرعة المحرك يجب أن تكون ثابتة بقدر الإمكان خلال الإختبار ويجب أن لا تحيد هذه السرعة عن القيمة الاسمية المقررة للدوران بما لا يزيد عن ١ % أو ± ١٠ لفات / دقيقة.
- يجب تسجيل نتائج حمل الفرملة واستهلاك الوقود فى آن واحد ويجب أخذ متوسط قراءتين متتاليتين بحيث لا يتجاوز الفرق بينهما ± ١ % .
- عند استخدام أداة أوتوماتيكية لقياس معدل استهلاك الوقود يجب ألا يقل الزمن المقاس عن ٣٠ ثانية ، أما عند استخدام أداة يدوية فلا يجب أن يقل الزمن المقاس عن ١٢٠ ثانية.
- درجة حرارة المياه الخارجة من قميص تبريد المحرك يجب أن تكون ثابتة عند درجة حرارة ٨٨ ± ٥ ° م . إلا إذا نص كتيب تشغيل المحرك على قيم أخرى وفى هذه الحالة تستخدم القيمة التى يوصى بها الصانع.
- درجة حرارة الوقود الداخل إلى مضخة وقود محرك الديزل يجب أن تكون ثابتة عند درجة حرارة ٧٣ ± ٥ ° م.
- عند قياس قدرة المحرك يتم تسجيل البيانات عند خمس قيم على الأقل لسرعات الدوران تبدأ من ٦٠٠ لفة / دقيقة (أو أقل إذا نص صانع المحرك على ذلك) وينتهى بأقصى سرعة محددة من قبل الصانع.
- جهاز قياس عدد لفات المحرك يجب أن يعطى القراءة بوحدات لفة / دقيقة وذلك فى حدود دقة مقدارها ± ٠,٢٥ % من القيمة المقاسة أو فى حدود ± ١٠ لفات أو أقل.
- يجب أن يتم تسجيل الزمن بأجهزة تعطى القراءة بالثوانى مع نسبة دقة مقدارها ± ٠,٢٥ % من القيمة الأساسية.
- قياس استهلاك المحرك للوقود بنسبة دقة فى حدود ± ١ % من القيمة الفعلية.
- درجات الحرارة يجب أن تقاس بوحدة درجة سليزيوس (درجة مئوية) وجهاز قياس درجة الحرارة الذى تصل قراءته إلى ٢٠٠ ° م يجب أن تكون درجة الدقة له فى حدود ١ ° م . ولأجهزة القياس التى تتعدى قراءتها ٢٠٠ ° م فيجب أن تقاس بدرجة دقة فى حدود ± ٥ ° م . وتقاس درجة الحرارة فى عدة مواقع داخل المحرك كما يلى :
- درجة حرارة الهواء الداخل للمحرك يجب أن تقاس من داخل فلتر الهواء بطريقة تعطى درجة الحرارة المتوسطة للكتلة ويعتنى جيدا بعزل جهاز القياس سواء كان ترمومتر أو ازدواج حرارى عن مصادر إشعاع الحرارة المختلفة فى المحرك. وتؤخذ أكثر من قراءة فى أماكن مختلفة داخل فلتر الهواء للحصول على قيمة متوسطة حقيقية ومعبرة عن درجة حرارة الهواء الفعلية الداخلة إلى المحرك.
- المحركات المبردة بالماء يتم قياس درجة حرارة الماء الداخل للمحرك ودرجة الحرارة للماء الخارج منه.
- المحركات المبردة بالهواء فيتم قياس درجات الحرارة عند نقاط محددة مسبقا من قبل صانع المحرك مثل شمعات الاشتعال أو زعانف التبريد الموجودة فى رأس الاسطوانة.
- درجة حرارة زيت التزييت تقاس فى مجمع زيت التزييت.

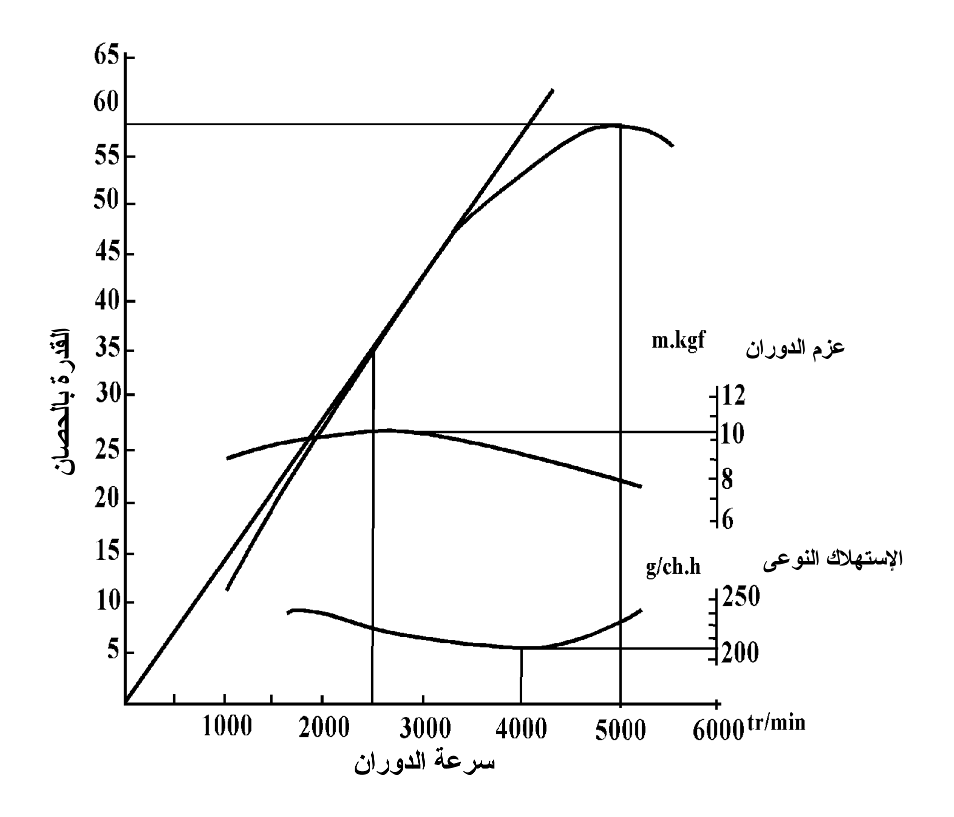
- درجات حرارة الوقود تقاس عند مخرج الوقود من داخل جهاز القياس المعد لقياس معدل الاستهلاك إن وجد. كذلك تقاس درجة حرارة الوقود الداخل للمحرك وذلك عند مخرج الفلتر الابتدائى وذلك فى المحركات التى تستخدم نظام حقن الوقود أو عند مدخل المغذى لمحركات البنزين.
- يقاس ضغط فلتر الهواء ومشعب السحب وذلك بدرجة دقة تصل إلى ± ٢٥٠ بسكال.
- يقاس ضغط العادم وذلك من خلال إنسيابه خلال أنبوبة عيارية قطر ١٥,٢٤ سم وتوضع وسيلة القياس عند مخرج العادم ويجب أن لا تقل درجة دقة القياس ± ٣٣٨ بسكال والذى يعادل إرتفاع عامود من الماء قدرة ٢,٥٤ سم.

٢-٤-٢-١٢ تحليل منحنيات الأداء

شكل (٢-٤) يوضح منحنيات أداء محرك بنزين رباعى الأشواط.

يبين الشكل وجود تطابق نسبى بين كل من منحنى عزم الدوران ومنحنى الاستهلاك النوعى للمحرك فى حين يتعارض كل من المنحنيين مع منحنى القدرة.

والسبب فى ذلك وكما هو معروف ، تتوقف درجة امتلاء اسطوانة المحرك بالشحنة (محرك بنزين) أو الهواء (محرك ديزل) على توقيت فتح وغلق صمامات سحب الشحنة وطرد غازات العادم للمحرك. ويتحقق الامتلاء الأمثل لاسطوانة المحرك عند توقيت محدد لفتح وغلق الصمامات. الأمر الذى لا يحدث إلا عند سرعة دوران واحدة فى مدى سرعات تشغيل المحرك ، وعند هذه السرعة يصل عزم دوران المحرك إلى قيمته القصوى والتى يجب ذكرها فى بيانات الشركة الموردة (الصانعه).



شكل (٢-٤) منحنيات الأداء لمحرك إحتراق داخلى

إذا انخفضت سرعة دوران المحرك عن تلك السرعة ينخفض عزم الدوران بسبب انخفاض درجة الامتلاء نتيجة إرتفاع الضغوط الخلفية التى تحدث بسبب تأخر غلق صمام السحب. كذلك إعادة سحب غازات العادم نتيجة تأخر غلق صمام العادم. وإذا ازدادت سرعة دوران المحرك عن تلك السرعة يقل العزم أيضا نتيجة تدهور درجة الامتلاء بسبب عدم الاستفادة من قوى القصور للشحنة الداخلة للمحرك نتيجة لتقديم غلق صمام السحب.

أما القدرة فتزداد بزيادة السرعة حتى تصل لأقصى قيمة لها عند سرعة محددة ولابد من تحديدها تعاقديا بمعرفة الشركة المصنعه ويطلق عليها Maximum Power RPM تبدأ بعدها قيمة القدرة فى النقصان باستمرار زيادة السرعة ، حتى نصل لسرعة محددة عندها تنعدم قيمة عزم دوران المحرك وهى تسمى سرعة الجموح. هذه السرعة لا يجب مطلقا تشغيل المحرك عندها نظرا لقوى القصور الذاتى والاهتزازات العنيفة التى تضر بالمحرك ضررا بليغا.

ويبين الشكل (٢-٤) أيضا كيفية توقع السرعة المناظرة لأقصى عزم دوران من منحنى القدرة للمحرك ، ويتم ذلك عن طريق رسم مماس لمنحنى القدرة من نقطة الأصل حيث تمثل نقطة التماس القدرة والسرعة عند أقصى عزم.

٥-٢ معانى بعض المصطلحات الفنية

A

Accelerating pump مضخة تعجيل
Advanced تقديم
Air filter مرشح هواء
Air intake مدخل هواء
Alternator مولد تيار متغير
Armature عضو استنتاج
Auto starter بـادئ حركة آلى

B

Buffle عارضة توجيه
Ball bearing كرسى محور كروى
Battery بطارية "مركم"
Battery plates ألواح المركم
Bearing كرسى محور
Bore أتساع
Bottom dead center نقطة ميتة سفلى
Brake power قدرة فرملية

C

Cable terminal طرف الكابل
Calibrating spring ياى المعايرة
Cam shaft عامود الكامات
Contact breaker فاصل التلامس
Control rod ذراع تحكم
Cooling system نظام تبريد
Crank pin بنز المرفق
Crank shaft عامود المرفق
Crank shaft breaking كرسى عامود الكرنك
Crankshaft gear ترس عامود المرفق
Cycle دورة
Cylinder اسطوانة
Cylinder block مجمع الاسطوانات
Cylinder head رأس الاسطوانة
Cylinder head gasket جوان رأس الاسطوانة
Carbon brush فرش كربونية
Carburator الخلاط –المغذى
Centrifugal clutch قابض طارد مركزى
Centrifugal governor منظم طارد مركزى
Choke tube أنبوب خنق
Choke valve صمام خنق
Clearance خلوص
Clutch قابض
Clutch release lever رافعة تحرير القابض
Combustion chamber غرفة حريق
Compression ratio نسبة الإنضغاط
Compression ring حلقة إنضغاط
Connecting rod ذراع توصيل

D

Damper مخمد
Delivery pipe أنبوب تسليم
Delivery valve صمام تسليم
Depression تخفيض
Diagram رسم تخطيطي
Diaphragm غشاء مرن
Discharge تدفق
Distributor head رأس توزيع

E

Earth cable كابل أرضى
Eccentric لا مركزى
Electronic ignition إشعال إلكترونى
Exhaust عادم
Exhaust manifold مجمع العادم
Exhaust pipe أنبوب العادم
Exhaust valve صمام العادم

F

Fan مروحة
Filter مرشح
Firing order ترتيب الإشعال
Flange فلانشة
Float عوامة
Float chamber غرفة العوامة
Flywheel حدافة
Fuel left pump مضخة وقود
Fuel tank خزان وقود

G
Gasket مانع تسرب
Generator مولد كهربى
Governor منظم
Groove تجويف

H
Heater filament فتيلة التسخين
Heater plug شمعة تسخين
Hose خرطوم

I
Idling الحمل الخالي
Ignition اشتعال
Ignition coil ملف إشعال
Ignition distributor موزع الشرر
Injection pump مضخة حقن
Injector حاقن - رشاش
Inlet دخول
Inlet manifold مجمع الدخول
Inlet pipe أنبوب دخول
Inlet valve صمام الدخول
Insulator عازل

J
Jet فوهة نافثة
Journal مرتكز - محمل

K
Knocking دق

L
Lubrication تزييت

M
Main jet فوهة رئيسية
Mixture خليط
Multiple disc clutch قابض متعدد الأقراص
Multiple switch مفتاح مزدوج

N
Needle valve صمام الإبرة
Nozzle holder مثبت الحاقن
Nozzle needle إبرة الحاقن
Nozzle spring ياى الحاقن

O
Oil impeller مروحة مضخة الزيت
Oil level dipstick عصاه قياس الزيت
Oil pump مضخة زيت
Oil pump strainer مصفاة مضخة الزيت
Oil scraper ring حلقة كشط الزيت
Output خروج

P
Pinion drive ترس بدء الإدارة
Pintail type nozzle حاقن ارتكازى
Piston مكبس
Power قدرة
Pre filter مرشح ابتدائي
Pressure gauge ضغط مقاس
Pump plunger كباس المضخة (الترددية)
Push rod رافعة الدفع

R
Radiator مشع الحرارة
Relief valve صمام تصريف
Revolution indicator مبين عدد لفات
Revolution per minute (rpm) لفة / دقيقة
Rocker lever رافعة متأرجحة

S
Scale مقياس
Self induction حث ذاتى
Single plate clutch قابض مفرد القرص
Slip ring حلقة انزلاق
Slow idling jet فوهة اللاحمل
Solenoid control تحكم كهر ومغناطيسي
Spark advance تقديم الشرر
Spark plug شمعة إحتراق
Starter switch مفتاح بدء الحركة
Stroke مشوار
Suction governor منظم سحب
Suction valve صمام سحب

Supply pipe أنبوب إمداد

T

Tappet إصبع غماز
Thermostat منظم حرارة
Throttle خانق
Thrust bearing كرسى ضغط
Timing gear ترس توقيت
Top dead center نقطة ميتة سفلى
Torque عزم دوران

V

Valve guide دليل صمام
Valve spring ياى الصمام
Valve timing توقيت الصمام
Vane مروحة
Voltage regulator منظم ضغط

W

Water ماء
Work شغل ميكانيكى

الباب الثالث
معدات نقل الحركة والقدرة

مقدمة

تنقسم معدات نقل الحركة إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

أ- معدات ميكانيكية

ب- معدات كهربائية وتشمل معدات التوليد والنقل والمحركات

ج- معدات هيدروليكية وتشمل معدات الهواء المضغوط والسوائل تحت ضغط.

وسنتناول فى هذه الدراسة معدات نقل الحركة الميكانيكية .

يختص هذا الجزء من الكود بمعدات نقل الحركة والقدرة ميكانيكياً وهيدروليكياً من معدة إلى أخرى ويكون الإتصال بين هذه المعدات بواسطة معدات نقل الحركة ، ومع تنوع أنواعها وتصميماتها يمكن تكبير أو تخفيض عزم الحركة أو القوة. ويعتمد إختيار نوعية معدات نقل الحركة على الظروف والأحوال التى يتم فيها نقل الحركة بين معدة وأخرى ، والمسافة بينهما والدقة المطلوب بها النقل ، ومقدار الفاقد أثناء النقل وتكاليف النقل ونوعية الحركة المطلوب نقلها .

٣-١ السيور

٣-١-١ مقدمة

تمتاز برخص ثمنها ومرونتها وقدرتها على امتصاص الصدمات والإهتزازات ولا تنقلها من معدة إلى أخرى إذا ما أحكم ضبطها وإختيارها كما أنها ملائمة جداً لنقل الحركة بين المعدات التى بينها مسافات طويلة نسبياً ، وهى معمرة إذا ما أحسن تصميمها وإختيار نوعياتها ونفقات صيانتها ضئيلة .

وتنقسم السيور إلى الأنواع الآتية :-

٣-١-٢ السيور المسطحة Flat Belts

هى السيور التى تستقر مسطحة على البكرات والطنابير وعرضها أكبر بنسبة عالية من سمكها وهى أرخص أنواع السيور كما أن لها المميزات الآتية :-

أ- نعومة نقل الحركة Quite running وقدرتها على النقل إلى مسافات طويلة .

ب- رخص ثمنها الأساسى (INITIAL COST) وصلاحية إستخدامها لمدد طويلة بتكلفة صيانة قليلة.

عند نقل الحركة أفقياً بالسيور المسطحة فإنه يفضل أن يكون الجزء المرتخى من السير فى الناحية العليا بينما الجزء المشدود من السير فى الناحية السفلى حيث يؤدى ذلك إلى زيادة مسافة استقرار السير على البكرات وزيادة كفاءة السير لنقل الحركة وتحدد المعادلة الآتية قوة الشد على السير وهى :-

قوة الشد بالكيلو نيوتن = القدرة المنقولة بالكيلووات ÷ سرعة السير بالمتر فى الثانية

وتكون السيور المسطحة مقفولة أو مفتوحة ، وفى كل الأحوال تقفل السيور المفتوحة بعدة وسائل :

أ- الغلق باللصق Cemented وكفاءتها ١٠٠ %
ب- الغلق باستخدام السلك ميكانيكياً Machine Laced with Wire وكفاءتها ٨٨% .
ج- الغلق بإستخدام السلك اليدوى Hand Laced with Wire .
د- الغلق بالكلبسات Metal Hooks وكفاءتها ٣٥ % .

وتصنع السيور المسطحة من الجلد الحيوانى ومن المطاط ويبلغ معامل الإحتكاك للسيور المصنوعة من الجلد كالآتى :
أ- بين السيور وكل من البكرات والطنابير الحديدية = ٠,٣ .
ب- بين السيور وكل من البكرات والطنابير الخشبية والورقية = ٠,٤٥ .

إن السرعة الاقتصادية للسيور تتراوح بين ٢٠ متر فى الثانية إلى ٢٥ متر فى الثانية وإذا قلت السرعة عن ذلك بنسبة كبيرة فإن تكلفة نقل الحركة سيكون غاليا بالنسبة إلى القوة المنقولة. ويوصى البعض بإستخدام سرعة ٣٠ م / ثانية للسيور الجلدية ، وقد تستخدم سرعة ٣٥ م / ثانية إلى سرعة ٤٠ م / ثانية. لكن نتيجة للسرعات العالية فإن القوة الطاردة المركزية التى يتعرض لها السير تقلل سطح الالتصاق على الطنابير وتقلل زاوية الالتصاق من ١٨٠ ° فى حالة السكون إلى ١١٠ ° فى حالة الحركة.

يحدد سمك السيور أثناء التصميم ويعتمد أساسا على قطر البكرة والطنبور الأصغر ويوضح الجدول رقم (٣-١) العلاقة بين سرعة السير بالمتر / ثانية والقدرة التى ينقلها السير منسوبة إلى عرض كل ٥ سم من العرض الكلى للسير. يتكون سمك السيور الجلدية من طبقة واحدة أو طبقتين ونادرا من ثلاث طبقات (Layers) ونادرا جدا أربع طبقات والطبقة الواحدة هى سمك جلد الحيوان بعد تنظيفه ومعالجته.

ولحساب الطول التقريبى للسير الذى ينقل الحركة من بكرة قطرها $ق_١$ إلى بكرة قطرها $ق_٢$ والمسافة بينهما س فإن الطول التقريبى للسير يوضحها القانون الآتى :

$$\text{طول السير} = ٢س + ١,٥٧\ (ق_١ + ق_٢) + \frac{(ق_٢ - ق_١)^٢}{٤س}$$

علما بأن $ق_٢$ أكبر من $ق_١$ ، وفى حالة تركيب السير بطريقة المقص فإن طول السير يكون كالآتى :

$$\text{طول السير} = ٢س + ١,٥٧\ (ق_١ + ق_٢) + \frac{(ق_٢ + ق_١)^٢}{٤س}$$

علما بأن س ، $ق_١$ ، $ق_٢$ مقاسه بالسم وطول السير بالسم.

وتستعمل تركيبة سير المقص عندما تكون المسافة س كبيرة ولزيادة مسافة سطح الالتصاق على البكرات. وفى حالة السيور الرأسية أو صغر المسافة بين البكرات تستخدم بكرة مساعدة بين البكرتين للضغط على الجزء المرتخى من السير لزيادة زاوية الاحتكاك.

جدول (٣-١) العلاقة بين سرعة السير والقدرة بالحصان طبقا لعدد الطبقات

عدد الطبقات / السمك / سرعة السير م / دقيقة	طبقة واحدة		طبقتين			ثلاث طبقات		عدد الطبقات
	٤,٥ مم	٥,٢ مم	٧ مم	٨ مم	٩ مم	١٢ مم	١٣,٥ مم	سمك السير
	متوسط	ثقيل	خفيف	متوسط	ثقيل	متوسط	ثقيل	نوع السير
١٨٠	٢,٢٠	٢,٤	٣	٣,٦	٤,٤٠	٥	٥,٦	القدرة بالحصان
٢٤٠	٢,٨	٣,٤	٤	٤,٨	٥,٨	٦,٦٠	٧,٢	القدرة بالحصان
٣٠٠	٣,٦	٤,٢	٥,٢	٦,٢	٧,٢	٨,٢	٩	القدرة بالحصان
٣٦٠	٤,٢	٥	٦,٢	٧,٤	٨,٦	٩,٨	١٠,٨	القدرة بالحصان
٥٤٠	٦,٤	٧,٤	٩	١٠,٨	١٢,٤	١٤,٦	١٦	القدرة بالحصان
٦٠٠	٧	٨,٢	٩,٨	١٢	١٣,٨	١٦,٢	١٧,٨	القدرة بالحصان
٩٠٠	١٠,٤	١١,٨	١٤,٤	١٧,٤	٢٠	٢٣,٢	٢٥,٦	القدرة بالحصان
١٢٠٠	١٢,٨	١٤,٨	١٨	٢١,٨	٢٥,٢	٢٩	٣٢	القدرة بالحصان
١٣٨٠	١٤,٢	١٦,٢	١٩,٦	٢٤	٢٧,٦	٣١,٦	٣٥,٦	القدرة بالحصان
١٥٠٠	١٤,٨	١٦,٨	٢٠,٦	٢٥	٢٨,٦	٣٣	٣٦,٤	القدرة بالحصان
١٨٠٠	١٥,٦	١٧,٨	٢١,٨	٢٦,٤	٣٠,٤	٣٥,٢	٣٨,٦	القدرة بالحصان

- يمكن حساب القدرة المنقولة عند أى سرعة بين السرعات المبينة بالجدول برسم الخط البيانى للقدرة المنقولة مقابل السرعات الموضحة.
- يمكن حساب القدرة التى ينقلها سير معلوم العرض والنوع من الجدول عالية بعد القسمة على خمسة والضرب فى عرض السير وفى هذه الحالة تستعمل معاملات التصحيح الآتية :

١- معامل التصحيح م ح = ١ ما عدا المحركات الكهربائية فإن معامل التصحيح للمحرك الاستنتاجى ذى القفص السنجابى = ٠,٦٧ والمحرك الإستنتاجى ذى حلقات الانزلاق = ٠,٤
٢- معامل البكر م ب

قطر البكر بالسم	١٠ فأقل	١٠,٥ ــ ٢٠	٢٢,٥ ــ ٣٠	٣٢,٥ ــ ٤٠	٤٢,٥ ــ ٧٥	أكثر من ٧٥ سم
معامل التصحيح م ب	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١

٣- معامل ظروف العمل م ع
- موقع به رطوبة وزيتى وبه غبار — المعامل ٠,٧٤
- موقع يعمل فيه السير فى وضع رأسي — المعامل ٠,٨٣
- موقع يكون فيه الحمل غير منتظم — المعامل ٠,٨٣

- موقع يكون فيه الحمل به صدمات ومتغير (Reversing) المعامل ٠,٧١

كذلك تتدرج الزيادة فى عرض السير طبقا للجدول الآتى :

عرض السير مم	التدرج مم
١٥ : ٢٤	٣
٢٤ : ١٠٠	٥
١٠٠ : ١٧٥	١٢
١٧٥ : ٣٠٠	٢٥

وتستعمل السيور الجلد من طبقة واحدة حتى عرض ٢٠٠ مم وتصنع من جلد الحيوان وهى أصلح أنواع السيور للعمل فى الظروف المتغيرة وتتحدد عدد طبقاتها طبقا للقدرة المطلوب نقلها وقطر البكر.

وتستعمل السيور المصنوعة من المطاط المشرب به القماش الدك (Canvas Duck) . وفى هذه السيور يصل عدد الطبقات إلى ٨ طبقات (Layers) حيث يتم تصنيع هذه السيورالمصنوعه من الخيوط المجدولة طولا وعرضا وعليها طبقة من المطاط. ويمتاز هذا النوع من السيور من الخيوط بمقاومته للشد. وتستعمل السيور المصنوعة من المطاط لنقل الحركة من الأماكن التى ترتفع فيها درجة الحرارة بنسبة عالية أو وجود زيت بها.

ولتحقيق كفاءة عالية فى نقل الحركة بالسيور المطاط فيراعى أن لا يقل قطر البكرة الصغرى بالسم عن ٧,٥ مرة عدد الطبقات.

يمكن إستعمال سيور مطاط بدلا من السيور الجلد وبالعكس عند نقل نفس القدرة.
سير مطاط عدد ٤ طبقات يكافئ سير جلد متوسط طبقة واحدة بنفس العرض.
سير مطاط عدد ٥ طبقات يكافئ سير جلد ثقيل طبقة واحدة بنفس العرض أو يكافئ سير جلد ضعيف طبقتين بنفس العرض.
سير مطاط ٦ طبقات يكافئ سير جلد متوسط طبقتين بنفس العرض.
سير مطاط ٧ طبقات يكافئ سير جلد ثقيل طبقتين بنفس العرض.
سير مطاط ٨ طبقات يكافئ سير جلد ثقيل ثلاث طبقات بنفس العرض.

لحساب القدرة التى ينقلها سير المطاط

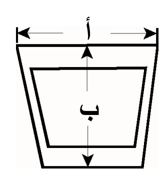
$$\text{القدرة بالحصان (HP)} = \frac{\text{العرض بالسم} \times \text{السرعة متر / ثانية} \times \text{عدد الطبقات}}{٣٠}$$

مع مراعاة معاملات التصحيح.
وتستخدم السيور المصنعة من نسيج القطن التى تعالج بمركبات كيميائية لتحسين قوة تحملها فى المواقع التى يكثر فيها الغبار وبخار الزيوت وحيث تكون بيئة الموقع ضارة للسيور الجلد والسيور المطاط.
وتمتاز سيور بلاتا (Balata Belts) التى تصنع من قماش الدك (Canvas Ducks) بطول عمر السير ولا تتأثر بإرتفاع أو إنخفاض درجة الحرارة كما أنها ليست فى حاجة للمعالجة.

٣-١-٣ السيور الزاوية حرف V (V Belts)

تستعمل السيور الزاوية (V Belts) لنقل الحركة لمسافات قصيرة أقل من المسافة التى تنقلها السيور المسطحة وأكبر من المسافة التى تنقلها التروس. وقطاع السيور الزاوية حرف Vعلى شكل شبه منحرف ضلعيه الغير متوازيين متساويين ولهما نفس زاوية الميل على المحور الرأسى ويمثل الجزء الفعال للسير وهى مصنوعة من خيوط القطن والنايلون ، وفى بعض الحالات تصنع من أسلاك من الصلب المكسو بالمطاط. والبعدين الرئيسيين للسير هما العرض (أ) والسمك (ب).

وتنقسم السيور حرف V إلى خمسة مجموعات قياسية هى A, B, C, D, E وهذا لا يمنع أن تكون هناك سيور بأبعاد خاصة لحالات معينة. والأبعاد القياسية لكل مجموعة.



الجزء الفعال من مقطع السير

المجموعة A	أ x ب	١ / ٢" x ١١ / ٣٢"	أقل قطر للطارة ٣"
المجموعة B	أ x ب	٢١ / ٣٢" x ٧ / ١٦"	أقل قطر للطارة ٥,٤"
المجموعة C	أ x ب	٧ / ٨" x ١٧ / ٣٢"	أقل قطر للطارة ٩"
المجموعة D	أ x ب	1¼" x ٣ / ٤"	أقل قطر للطارة ١٣"
المجموعة E	أ x ب	1½" x ١"	أقل قطر للطارة ١٦"

وكما هو معلوم فإن السيور حرف V مغلقة متصلة (Endless Belt) وتنقل القدرة بالإحتكاك بين الجانبين المائلين للسير وبين جانبى المجرى فى الطارة.

لحساب القدرة التى تنقلها السيور حرف V فإن المعادلة تختلف ثوابتها طبقا لكل مجموعة

القدرة بالحصان = [س – (ص / ق) – (م ع^{٢} / ١٠^{٦})] - (ع / ١٠٠٠)

حيث
س ، ص ، م ثوابت لكل مجموعة
ع سرعة السير بالقدم / دقيقة
ق القطر الاسمى للطارة الصغرى (Pitch Diameter)

أطوال السيور موحدة وتوجد جداول تبين أطوال السيور القياسية لكل مجموعة مراعيا فيها الخلوص فى الطول المتفق عليه بين منتجى هذه السيور. وفى حالة إستعمال أكثر من سير لنقل الحركة والقدرة فيجب أن تكون السيور من نفس المجموعة ولها نفس الطول والخلوص. والخلوص يتراوح بين ٠,١ من البوصة لأقصر السيور و ١,٥ بوصة للسيور طول ٥٥ قدم. والتغير فى الخلوص للأطوال الواقعة بين هذين الطولين يتم تدريجيا.

وفيما يلى جدول يبين ثوابت نقل الحركة والقدرة لكل مجموعة.

المجموعة	أبعاد السير بالبوصة		ثوابت نقل الحركة			أصغر قطر للطارة الصغرى بالبوصة
	أ	ب	س	ص	م	
A	٢ / ١	٣٢ / ١١	١,٥٨٩	٢,٧٠٢	٠,٠١٤٦	٣
B	٣٢ / ٢١	١٦ / ٧	٢,٨٢٢	٧,٧٢٥	٠,٠٢٥١	٤,٥
C	٨ / ٧	٣٢ / ١٧	٥,٨٨٢	٢٦,٩٧١	٠,٠٣٩٧	٩
D	١¼	٤ / ٣	١٢,٦٢٨	٩٦,٩٩١	٠,٠٨١٥	١٣
E	١½	١	-	-	-	-

نظرا لأن السيور حرف V متصلة Endless فيجب إختيار السيور ذات الأطوال القياسية من واقع كتالوجات الشركات المصنعة وبما يحقق القدرة على نقل القوة والحركة ويفى بالمحافظة على المسافة بين محورى نقل الحركة. ويمكن تحديد أطوال السير طبقا للمعادلة الآتية :

$$\text{طول السير} = ٢س + ١,٧٥ (ق_١ + ق_٢) + \{(ق_٢ - ق_١)^٢ / ٤س\}$$

حيث

س هى المسافة بين محورى نقل الحركة

$ق_١$ ، $ق_٢$ هى القطر الاسمى (Pitch Diameter) للبكرة الصغرى والبكرة الكبرى على التوالى ، وإذا كان الطول لا يتفق والأطوال القياسية فيمكن التحكم فى البعد س عن طريق مسمار شداد ليكون طول السير طولا قياسيا.

مميزات نقل الحركة بالسيور حرف V

إن السيور حرف V تنقل الحركة بهدوء وبنعومة وفى حالة انقطاع أحد السيور فى حالة النقل بمجموعة، فإن السيور تنقل الحركة والقدرة مما لا يعطل دوران المجموعة حتى يتم تركيب بدلا منه ، وفى هذه الحالة يجب أن يتم تغيير المجموعة كلها حتى لا يكون هناك اختلاف فى التحميل بين سيور المجموعة.

وفى بعض حالات نقل الحركة تكون الطارة الكبرى جزء من معدة وسطحها الخارجى ليس به مجارى للسيور ، فى هذه الحالة يمكن استخدام السيور حرف V لنقل الحركة بالاحتكاك على الأجناب من طارة مصدر القدرة ، بينما بالاحتكاك على السطح الداخلى للسير مع سطح الطارة الكبرى وذلك عندما تسمح ثوابت نقل الحركة طبقا لكتالوج المورد بذلك.

٣-١-٤ السيور المسننة من الداخل Inverted Toothed Belts

وهى سيور مطاطية بقلب معدنى مسننة من الداخل لنقل الحركة دون انزلاق (Without Slip) أوسيور مسطحة وتستعمل لنقل القدرات الصغيرة كما فى السيارات وأجهزة القياس ويسمى فى مجال السيارات بسير التوقيت (الكتينه) Timing belt.

٣-٢ الحبال Ropes

٣-٢-١ حبال غير معدنية

تصنيع الحبال الغير معدنية من خيوط القنب أو القطن أو السيزال أو الألياف الصناعية وكانت الغالبية فى ذلك للخيوط القطنية ثم حل محلها السيزال والألياف الصناعية ولكن ما زالت للحبال المصنوعة من الخيوط القطنية إستعمالاتها خصوصا عند الحاجة إلى إستعمال حبال مرنة لا تتأثر كثيرا بالزيوت أو الشحومات.

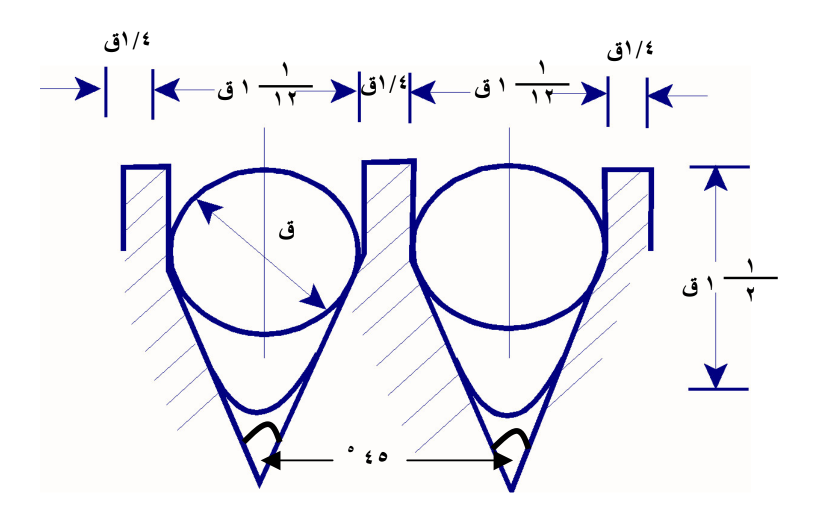
ولنقل الحركة والقدرة تستعمل الحبال التى قطرها يتراوح بين ١,٥" – ٢" ويمكن إستعمال أقطار تتراوح بين $\frac{٥}{٨}$ ١" إلى $\frac{٣}{٤}$ ١" .

ويقدر وزن الحبال الغير معدنية ليكون وزن القدم الطولى بالرطل (1 b) = ٠,٣ x ق^{٢} (حيث ق قطر الحبل بالبوصة) .

وتشكل الحبال من خيوط تكون جدائل (Strands) ثم تشكل المجموعات سويا لتكوين الحبل وهى إما من ثلاثة أو أربعة أو ستة جدائل (Strands).

وقوة الشد التى ينقطع عندها الحبل تتراوح بين ٧٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ رطل للبوصة المربعة من مساحة مقطع الحبل ولكن الحمل الذى يعمل علية الحبل لا يتجاوز $\frac{١}{٦}$ من قوة الشد للكسر حيث أن هذه النسبة من الحمل تضمن طول عمر الحبل ومعامل أمان مناسب ، وتتراوح سرعة الحبال لنقل هذه الحركة بين ٣٠٠٠ قدم / دقيقة إلى ٦٠٠٠ قدم / دقيقة ولكن السرعة المناسبة ٤٥٠٠ قدم / دقيقة.

وتمتاز الحبال المصنوعة من القطن بانتظام سرعتها ولا تسمح بنسبة عالية من الانزلاق (Slip) كما أنها تنقل الحركة دون ترخيم عالى فى الحبال. وتنقل الحبال الحركة بين بكرتين المسافة بينهما حتى ٥٠٠ قدم (١٥٠ م) وفى حالة زيادة مسافة النقل عن ذلك فتتكرر عملية النقل بإستخدام البكرات المزدوجة.
تصنع بكرات نقل الحركة بالحبال من الحديد الزهر Cast Iron وتكون مجارى الحبال على البكرات بزاوية ٤٥ وحسب الرسم الموضح. وأقل قطر للبكرات مقاس من محور البكرة إلى محور الحبل = (١٠ ق + ١٦) x ق حيث ق هى قطر الحبل بالبوصة. كما يجب أن لا يزيد ميل المسافة بين بكرتى نقل الحركة عن ٤٥ على الأفقى ويراعى أن يكون الترخيم فى الحبال من الجهة العليا والشد من الجهة السفلى حيث أن ذلك يزيد زاوية التصاق الحبال على البكرات.



رسم تخطيطى يبين العلاقة بين قطر الحبل وأبعاد مجارى الحبال فى البكرات

والقدرة التى تنقلها الحبال طبقا لما أسفرت عنه العديد من التجارب تحددها المعادلة الآتية :

$$\text{القدرة بالحصان} = \frac{F \times V}{550} = \frac{(62790 - 3\,V^2)\,D\,V^2}{230230}$$

حيث F = القوة فى الحبل بالرطل ، V = السرعة بالقدم / ثانية ، D قطر الحبل بالبوصة .

ومن دراسة هذه المعادلة يتضح أن أكبر قدرة منقولة عندما تكون السرعة V = ٨٣,٥ قدم / ثانية أو ٥٠١٠ قدم / دقيقة وإذا زادت السرعة عن ذلك تقل القدرة المنقولة وتصبح صفرا عندما تصل السرعة إلى ٨٦٨٠ قدم / دقيقة .

ومن المعروف أن الحبل المشدود بين نقطتين يكون به ترخيم طبقا لقوة الشد والمسافة بين النقطتين ووزن القدم الطولى من الحبل وهذا الترخيم هو ما يعرف بالشكل الكاتينرى (Caternary Shape) وللتقريب يستعاض فى حساب نقل الحركة بالحبال بشكل القطع المكافئ (Parabola Shape) عن الشكل الكاتينرى.

وفى هذه الحالة تكون مسافة الترخيم H ، ويتم تحديدها من المعادلتين الآتيتين :

١- معادلة الترخيم عندما يكون محورى البكرتين فى مستوى أفقى واحد

$$H_1 = \frac{Q}{2W} - \sqrt{\frac{Q^2}{4W^2} - \frac{L^2}{8}} \qquad \text{(الترخيم)}$$

حيث $Q = HW + \frac{WL^2}{8H}$ ، W وزن القدم الطولى من الحبل بالرطل ، L المسافة بين محورى البكرتين ، كما أن Q تتناسب طرديا مع قوة الشد F .

٢- معادلة الترخيم عندما لا يكون محورى البكرتين فى مستوى أفقى واحد
الترخيم H_1 منسوبا إلى محورى البكرة السفلى (A)

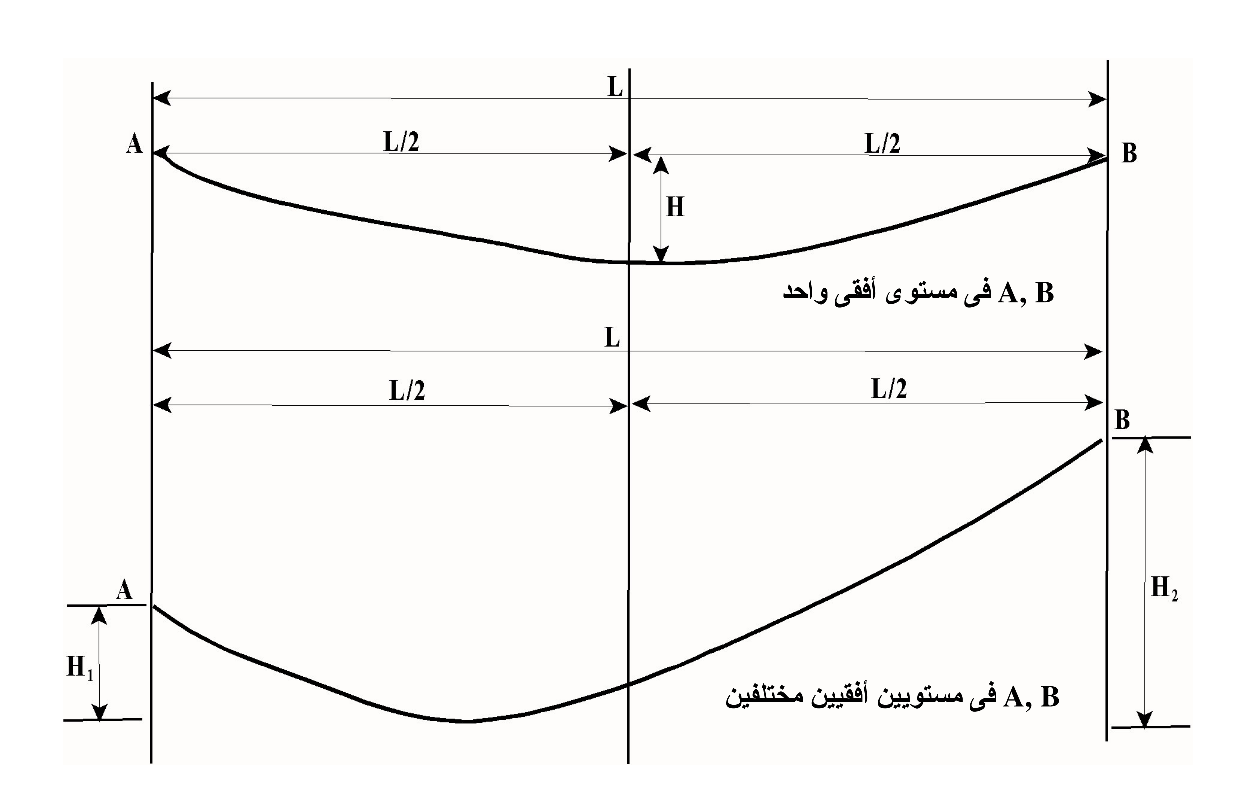
$$H_1 = \frac{Q_1}{2W} - \sqrt{\frac{Q_1^{\;2}}{4W^2} - \frac{L_1^{\;2}}{2}}$$

الترخيم H_2 منسوبا إلى محورى البكرة السفلى (B)

$$H_2 = \frac{Q_2^{\;2}}{2W} - \sqrt{\frac{Q_2^{\;2}}{4W^2} - \frac{L_2^{\;2}}{2}}$$

حيث $Q_1 = \frac{WL_1^{\;2}}{2H_1} + WH_1$ ، $Q_2 = \frac{WL_2^{\;2}}{2H_2} + WH_2$

L_1 = المسافة الأفقية بين محور البكرة السفلى ونقطة أقصى ترخيم
L_2 = المسافة الأفقية بين محور البكرة العليا ونقطة أقصى ترخيم



٣-٢-٢ الحبال الصلب Steel Wires

وتنقسم إلى نوعيين :

أ- الحبال الصلب بقلب حبل غير معدنى Steel Wire Ropes with Hemp Core
ب- الحبال الصلب بقلب صلب Steel Wire Ropes with S.W.R.C

تصنع الحبال الصلب من أسلاك من الصلب مسحوبة على البارد من صلب محاريث (الاسم التجاري) وهو عادة من ثلاثة درجات هى :

- Improved Plow Steel.
- Plow Steel.
- Mild Plow Steel.

ويحدد قطر السلك تركيب الحبل وعدد الأسلاك به حسب القطر الخارجى للحبل ويتراوح قطر السلك بين ٠,٠٤٨ إلى ٠,١١١ من قطر الحبل الصلب حسب عدد الأسلاك بكل جديلة.

تجدل كل مجموعة أسلاك لتكون جديلة (Strand) ويتراوح عدد الأسلاك فى الجديلة بين ٧ أسلاك فى الحبال تركيب ٦ x ٧ وتكون ٣٧ سلك فى الحبال ٦ x ٣٧ ويتراوح عدد الجدائل بين ستة جدائل ، وعشرة ولكن العدد السائد الآن هو ستة جدائل. وتتوقف مرونة الحبل وقدرته على الثنى على عدد الأسلاك فى الجديلة الواحدة فكلما زاد عدد الأسلاك فى الجديلة كلما كان السلك مرنا وقابلا للثنى ، لذلك تستخدم الحبال الصلب ذات عدد الأسلاك العالية فى الجدائل فى معدات الرفع والمصاعد. والعدد الأكثر إستعمالا الآن فى الجدائل هو ١٩ سلك فى الجديلة ويرمز للحبل بعدد الجدائل ثم عدد الأسلاك فى الجديلة ثم عدد الأسلاك فى كل طبقة من طبقات الجديلة ، فمثلا الحبل الصلب ٦ x ١٩ يتكون من ستة جدائل بكل جديلة ١٩ سلك تركيبها من المركز إلى الخارج (١ + ٦ + ١٢) وفى بعض الحبال الصلب تملأ الفراغات بين الأسلاك فى الجديلة بأسلاك رفيعة وتسمى هذه الحبال الصلب Steel Wire Ropes .

بعد تكوين الجدائل تجهز لتكوين الحبل قبل جدله وهى تسمى Preformed Ropes ويمكن معرفة ذلك عمليا أنه أثناء قطع الحبل الصلب فإذا تناثرت الأسلاك بشدة وتباعد فإن الجدل يكون Non-Preformed وإذا كان التناثر قليلا ومحدودا فإن الجدل يكون Preformed .

تلف الجدائل مع بعضها حلزونيا حول قلب حبل أو حول قلب سلك لتكوين الحبل الصلب وهذا هو التصنيف الأول للحبال (حبال صلب بقلب حبل وحبال بقلب صلب). لكل من هذين النوعين ميزته فالحبال الصلب بقلب حبل أكثر مرونة وأقدر على الإنحناء على البكرات ومقاومة للصدأ والتآكل نتيجة احتكاك الأسلاك ببعضها أثناء الإستعمال ، وذلك لأن القلب الحبل يشبع بمواد التزييت والتشحيم وموانع الصدأ قبل لف الجدائل عليه.

أما الحبال الصلب بقلب صلب فإن قدرتها على نقل القدرة والحركة أكبر من الحبال بقلب حبل وأقل تعرضا للتشويه Deformed لصلابة القلب الصلب ، وعموما فإنه يجب صيانة الحبال الصلب بالنظافة والتشحيم الدورى. وتستعمل الحبال ذات القلب حبل والمصنوعة من الصلب المجلفن فى الأعمال البحرية والمائية مثل الأسلاك التى تستعمل فى الشفاطات والحفارات المائية.

تلف الجدائل مع بعضها حول القلب إما فى إتجاه لف أسلاك الجدائل وهو ما يعرف لف لانج (Lang Lay) أو فى عكس إتجاه لف أسلاك الجدائل وهو ما يعرف بلف منتظم (Regular Lay) ولا يغير من ذلك أن يكون لف الأسلاك والجدائل فى إتجاه عقارب الساعة (Clock Wise) أو فى عكس إتجاه عقارب الساعة (Anti-Clock Wise) .
ويقاس قطر السلك بقطر الدائرة التى تمس الجدائل من الخارج. وهناك إتجاه حديث لتغليف الحبال الصلب بطبقة من النايلون الناشف لحماية الأسلاك الخارجية للجدائل من التآكل السريع.

ويبين الجدول الآتى البيانات الخاصة بالحبال الصلب ومواصفاتها

تركيب الحبل الصلب / البيانات	٦ x ٧	٦ x ١٩	٦ x ٣٧
وزن القدم الطولى بدلالة قطر الحبل	١,٥٢ ق^{2} رطل	١,٦ ق^{2} رطل	١,٥٥ ق^{2} رطل
أصغر قطر للبكرة بدلالة قطر الحبل	٤٢ ق بوصة	٣٠ ق بوصة	١٨ ق بوصة
القطر المناسب للبكرة بدلالة قطر الحبل	٧٢ ق بوصة	٤٥ ق بوصة	٢٧ ق بوصة
قطر السلك بدلالة قطر الحبل	٠,١١١ ق بوصة	٠,٠٦٧ ق بوصة	٠,٠٤٨ ق بوصة
مساحة الأسلاك بدلالة قطر الحبل	٠,٣٨ ق^{2} بوصة مربعة	٠,٤٠ ق^{2} بوصة مربعة	٠,٤٠ ق^{2} بوصة مربعة

بالنسبة للحبال الصلب تركيب ٦ x ١٩ فإن أقصى قوة الشد حسب نوع الصلب كالآتى

Improved plow steel = 42 D^2 rope tons
Plow steel = 36 D^2 rope tons
Mild plow steel = 32 D^2 rope tons

حيث D هى قطر الحبل الصلب بالبوصة

ويتحدد معامل الأمان تبعا للوزن الذى سيتعامل مع الحبل الصلب ووزن الحبل نفسه والسرعة والعجلة التى يعمل بها الحبل والمعاملات كالآتى :

٣,٥ للحبال الصلب المستعملة فى الشدادات
٥ للحبال الصلب المستعملة فى معدات الرفع
٦ للحبال الصلب المستعملة فى الحفارات والأوناش البحرية ومعدات البحر
٧ للحبال الصلب المستعملة فى معدات الرفع الكهربائية أو التى تعمل بالهواء المضغوط
٨ للحبال الصلب المستعملة فى رفع بوادق الصب بالمسابك للمعادن المنصهرة

وتستعمل الحبال الغير معدنية والحبال الصلب لنقل الحركة والقوة لمسافة حوالى ٥٠٠ قدم بين البكرات وفى حالة زيادة مسافة النقل عن ذلك فتستخدم البكرات المساعدة موزعة فى المسافة بين البكرتين الرئيسيتين. وعندما تكون المسافة كبيرة فيستخدم نظام Teledynamic وهو تكرار البكرات الرئيسية بعد تقسيم المسافة الكلية إلى مسافات مناسبة لا تزيد عن ٥٠٠ قدم وبحيث تتساوى المسافات.
ولحساب القدرة بالحصان التى تنقلها الحبال الصلب تستعمل المعادلة الآتية :

القدرة بالحصان = (قطر السلك فى الحبل بالبوصة x عدد الأسلاك x سرعة الحبل قدم / دقيقة

وفيما يلى قوة الشد للحبال الصلب حسب أقطارها (الطن = ٢٢٤٠ رطل)

قطر بوصة	وزن القدم الطولى رطل	I.P.S قوة الشد	P.S قوة الشد	قطر بوصة	وزن القدم الطولى رطل	I.P.S قوة الشد	P.S قوة الشد	قطر بوصة	وزن القدم الطولى رطل	I.P.S قوة الشد	P.S قوة الشد
١ / ٤	٠,١رطل	٢,٧٤ طن	٢,٣٦ طن	٣ / ٤	٠,٩٠ رطل	٢٣,٨ طن	٢٠,٧ طن	١ ٥/٨	٤,٢٣ رطل	١٠٧ طن	٩٣,٤ طن
٥ / ١٦	٠,١٦ رطل	٤,٢٦ طن	٣,٧١ طن	٧ / ٨	١,٢٣ رطل	٣٢,٢ طن	٢٨ طن	١ ٣/٤	٤,٩٠ رطل	١٢٤ طن	١٠٨ طن
٣ / ٨	٠,٢٧ رطل	٦,١٠ طن	٥,٣١ طن	"١	١,٦٠ رطل	٤١,٨ طن	٣٦,٤ طن	١ ٧/٨	٥,٦٣ رطل	١٤١ طن	١٢٣ طن
٧ / ١٦	٠,٣١ رطل	٨,٢٧ طن	٧,١٩ طن	١ ١ / ٨	٢,٠٣ رطل	٥٢,٦ طن	٤٥,٧ طن	"٢	٦,٤٠ رطل	١٦٠ طن	١٣٩ طن
١ / ٢	٠,٤٠ رطل	١٠,٧ طن	٩,٣٥ طن	١ ١ / ٤	٢,٥٠ رطل	٦٤,٦ طن	٥٦,٢ طن	٢ ١/٨	٧,٢٣ رطل	١٧٩ طن	١٥٦ طن
٩ / ١٦	٠,٥١ رطل	١٣,٥ طن	١١,٨ طن	١ ٣ / ٨	٣,٠٣ رطل	٧٧,٧ طن	٦٧,٥ طن	٢ ١/٤	٨.١٠ رطل	٢٠٠ طن	١٧٤ طن
٥ / ٨	٠,٦٣ رطل	١٦,٧ طن	١٤,٥ طن	١ ١ / ٢	٣,٦٠ رطل	٩٢ طن	٨٠ طن	٢ ٥/٨	١٠ رطل	٢٤٤ طن	١٢٠ طن
									١٢,١ رطل	٢٩٢ طن	٢٥٤ طن

وبالنسبة للحبال الصلب المجلفنة بقلب حبل تقل قوة الشد بمقدار ١٠ % . وبالنسبة للحبال الصلب بقلب صلب تزاد قوة الشد بنسبة ٧ % ويزداد الوزن للقدم الطولى بنسبة ١٠ % .

ملحوظة هامة

استخدمت وحدات النظام الانجليزى فى هذه الدراسة لشيوع استعمالها محليا ولعدم توفر بيانات بالنظام المترى وعند توفرها يمكن استخدامها كمرادفات للنظام الإنجليزى.

٣-٣ السلاسل (الكتائن أو الجنازير) Chains

٣-٣-١ سلاسل البكرات (الكتائن) Roller Chains

يمكن نقل الحركة والقدرة بالكتائن (Roller Chains) ومسنناتها (تروسها) Sprockets كما لو كان النقل بواسطة مجموعة التروس مع المرونة فى تغيير المسافة بين مركزى الترسين (Sprockets) من أقل إلى أقصى مسافة بتغيير طول الكتينة (Chain) .

وتصل كفاءة نقل الحركة والقدرة إلى مثيلاتها فى حالة النقل بالمسننات (التروس) وتتراوح بين ٩٠ % ، ٩٨ % إذا كانت التروس Sprockets والكتائن متوائمة ومشحمة جيدا ومصممة بدقة لكل من التروس والكتائن والمسافة بين محاور الأعمدة المركبة عليها التروس. كما يمتاز نقل الحركة بالكتائن بعدم وجود انزلاق بين الكتائن والتروس كما أنها فى غير حاجة إلى شد مبدئى مثل السيور. وتعتبر الكتائن أقل معدات نقل الحركة شغلا للحيز والفراغ عند مقارنتها بالوسائل الأخرى لنقل نفس القدر من الحركة والقدرة.

٣-٣-١-١ العوامل المؤثرة على تشغيل الكتائن

يحدث للكتائن التأثيرات الآتية عند نقل الحركة والقدرة بها :

١- التعرض للشد لنقل الحركة أثناء سرعتها.
٢- الإنحناء حول التروس (Sprockets) للتعشيق فى أسنانها مما ينتج عنه تآكل من بكرات الكتائن.
٣- الاصطدام عندما تقابل وصلة الكتينة سن الترس (Dynamic Loading) وهى مصدر الصوت فى حالة الإدارة. ويتوقف علو وإنخفاض الصوت على دقة فتح أسنان الترس بحيث تكون خطوة الترس (Pitch) هى نفس خطوة الكتينة مع مراعاة الخلوص المناسب.
٤- تصل كفاءة الكتينة إلى حوالى ٩٦ % وتزيد عند استعمال مادة التزييت المناسبة والسرعة التى تتفق وعدد أسنان المسننات (Sprockets) ويكون الصوت أقل ما يمكن.

٣-٣-١-٢ التأثير الوترى وأقل عدد لأسنان المسننات (Sprockets)

كلما قل عدد أسنان المسنن الذى تعمل عليه الكتينة كلما زاد التأثير الوترى (أى صوت لقاء الكتينة مع أسنان المسنن عند التلاقى للتعشيق) ومع التحليل الرياضى لحركة وصلات الكتينة على أسنان التروس تبين أن عدد أسنان الترس يجب أن تزيد عن سبعة أسنان.

ومن تطبيق قواعد التجارب العملية فقد تبين أن أقل عدد مقبول لأسنان الترس هو ستة عشر سنه ويمكن القول بأن ١٩ سنه ، ٢١ سنه حتى ٣٠ سنه ملائم للاستعمال فى السرعات العادية.

كما يستحسن أن يكون عدد الأسنان فردى فى الترس الصغير وزوجى فى الترس الأكبر والكتينة حتى يندر تقابل أسنان التروس مع نفس البكرات على الكتينة عند الإدارة.

ملحوظة هامة

نظرا لعدم توفر بيانات ومعلومات كافية من الناحية الفنية بالنظام المترى عن الكتائن وتروسها فقد استعمل النظام الإنجليزى ، وعند توفر البيانات والمعلومات المطلوبة يمكن استعمال النظامين كمرادفين عن نفس الموضوع.

٣-٣-١-٣ السرعات المسموح بها لسلاسل البكرات (Roller Chains)

تحدد المواصفات القياسية (American Standards Association (A.S.A – 208 كما تحدد نشرات المصنعين للكتائن والسيور أقصى سرعة مسموح بها.

كلما زادت خطوة الكتينة كلما قلت السرعة المسموح بها كما تقل السرعة كلما قل عدد أسنان الترس الصغير عن ١٦ سنه مثلا وتزيد السرعة كلما زاد عدد الأسنان عن ١٦ .

١- أقصى سرعة دائرية مقبولة للترس ١١ سنه هى ٢٢٦٠ لفة فى الدقيقة.
٢- أقصى سرعة دائرية مقبولة للترس ١٦ سنه هى ٣٦٣٠ لفة فى الدقيقة.
٣- أقصى سرعة دائرية مقبولة للترس ٢٥ سنه هى ٤٥١٠ لفة فى الدقيقة.
٤- تكون أقصى سرعة خطية مقبولة لكتينة عدد أسنانها ١١ سنه هى ٧٧٥ قدم فى الدقيقة والتى عدد أسنانها ١٦ سنه هى ١٨١٠ قدم فى الدقيقة والتى عدد أسنانها ٢٥ سنه هى ٣٥٢٠ قدم فى الدقيقة.

٣-٣-١-٤ معادلة السرعة الخطية لكتينة

السرعة بالقدم فى الدقيقة = ٢٢ / ٧ x (ق / ١٢) x ن
حيث ٢٢ / ٧ هى النسبة التقريبية ط ، ق قطر دائرة خطوة الترس ، ن عدد اللفات فى الدقيقة

٣-٣-١-٥ معادلة القدرة التى تنقلها الكتينة بالحصان

القدرة التى تنقلها الكتينة بالحصان HP

$$HP = \mathrm{P}^2 \left\{\frac{\mathrm{V_m}}{23.7} - \left(\frac{\mathrm{V_m}}{139}\right)^{1.41} \mathrm{x}\ \left(1 + 50 \sin^2 \frac{90}{\mathrm{N_s}}\right)\right\}$$

حيث P الخطوة بالبوصة
V_m هى سرعة الكتينة بالقدم فى الدقيقة
N_s هى عدد الأسنان فى الترس الصغير

والقدرة هى لكتينة مفردة فإذا استعملت كتينة ثنائية أو ثلاثية أو رباعية فإن القدرة الناتجة من المعادلة تضرب فى ٢ أو ٣ أو ٤ حسب عدد الكتائن المفردة فى المجموعة ويمكن استخدام أكثر من مجموعة فى نقل القدرة.

٣-٣-١-٦ معامل الخدمة (Service Factor)

عند اختيار الكتينة لنقل قدرة معينة يجب مراعاة معامل الخدمة (Service Factor) وتضرب القدرة المراد نقلها فى هذا المعامل ، وفيما يلى بعض القيم لمعامل الخدمة وذلك حسب ساعات التشغيل اليومى ونوع التحميل :

معامل الخدمة Cs		نوع التحميل	الإستخدامات
١٢ ساعة يوميا	٢٤ ساعة يوميا		
٠,٨	١	متقطع	معدات الحفر - الحفارات - الجرافات - الأوناش
١	١,٢	حمل ثابت مستمر	طلمبات وضواغط طاردة مركزية - مراوح - سيور ناقلة - مولدات أعمدة إدارة
١,٢	١,٤	أحمال غير ثابتة ونبضية	صدمات متوسطة - رفاصات قوارب - ضواغط طاردة مركزية - سيور ناقلة - طواحين - كسارات - معدات نجارة - طواحين بالأثقال - طلمبات ترددية ثلاثية
١,٤	١,٧	أحمال ثقيلة غير منتظمة	صدمات شديدة - ضواغط كبيرة ترددية - طواحين - مواد صلبة - ماكينات ترددية وعاكسة للحركة - مطارق أوتوماتيكية - مكابس - آلات قص - طلمبات ترددية

وعموما فإن عمر الكتينة يتوقف أساسا على التآكل فى البكرات والبنوز وكلما كان التحميل مناسبا على الكتينة كان عمرها أطول ، وكلما إعتنى بالصيانة والتشحيم والتزييت كلما كان عمر الكتينة أطول وكفاءتها أعلى.

٣-٣-١-٧ حساب طول الكتينة

$$\text{طول الكتينة (ل)} = ٢\,\text{م} + \frac{\text{ن}_1 + \text{ن}_2}{٢} + \frac{(\text{ن}_2 - \text{ن}_1)^2}{٤٠\,\text{م}} \quad \text{خطوة}$$

حيث ل الطول الكلى للكتينة بالخطوة

م المسافة بين مركزى الترسين بالخطوة

ن_1 عدد أسنان الترس الصغير Small Sprocket

ن_2 عدد أسنان الترس الكبير Large Sprocket

فإذا كانت نتيجة المعادلة عدد صحيح من الخطوات وكسر من الخطوة فيصبح الطول ليكون عدد صحيح من الخطوات بزيادة مباشرة. ويستحسن أن يكون العدد زوجى إذا كانت السرعة النسبية بين الترسين أقل من ٣ ، فإن الكتينة ستغطى ١٢٠ درجة على الأقل من الترس الصغير ، بينما يستحسن أن لا تقل زاوية

التغطية عن ١٣٥ درجة. فإذا كانت السرعة النسبية أكبر من ٣ فإن المسافة بين مركزى الترسين يجب أن لا تقل عن مجموع القطرين الخارجيين للترسين. وللوضع المناسب فإن المسافة بين مركزى الترسين تكون بين ٣٠ ، ٥٠ خطوة .

٣-٣-١-٨ نوعية الصلب الذى تصنع منه الكتائن وتروسها

تصنع مكونات الكتائن وتروسها من سبائك الصلب المعاملة حراريا والمقسى أسطحها لمقاومة التآكل. والكتائن المصنعة من سبائك غير مغناطيسية لمقاومة الصدأ متاحة لدى الشركات المصنعة للكتائن.

والتروس التى يقل عدد أسنانها عن ٢٥ سنه تصنع عادة من الصلب وقد يستعمل الحديد الزهر لتصنيع التروس. وفى حالة أن تكون سرعة الكتينة أقل من ١٨٠ متر فى الدقيقة فإن درجة الصلابة البالغة ١٨٠ برينيل مناسبة للتروس ، وللسرعات الأعلى فإن أسنان التروس يجب تقسيمها لتكون درجة صلابتها تتراوح بين ٣٠٠ ، ٥٥٠ برينيل وذلك إما بزيادة الكربون فى الصلب الأقل كربونا أو بتقسيتها مع تعديل كربون الصلب ليكون بين ٠,٤ % إلى ٠,٥ % . كما يستخدم اللهب للتقسية وقد يصنع الترس الكبير من الصلب أو من الحديد العادى تبعا لنوعية الحمل الذى ينقله.

٣-٣-١-٩ توصيات عامة بشأن الكتائن وتروسها

أ- يجب أن يكون شد الكتائن من الناحية العلوية لها والترخيم من أسفل.
ب- التزييت أساسى للكتائن وتروسها وعندما تكون السرعة أكثر من ١٨٠ متر فى الدقيقة يجب أن يكون التزييت جبريا بواسطة مضخة تزييت ويجب أن تكون الكتائن وتروسها محمية من الأتربة والشوائب.
ج- يراعى أن تكون السرعة النسبية للتروس أقل من ٧ فإذا اقتضت الضرورة أن تكون النسبة أعلى فتوزع النسبة على تخفيضين.
د- عند إختيار الكتائن لنقل القدرة والحركة يجب مراعاة العوامل الثلاثة الآتية :

١- معامل التصحيح لعدد الجدائل ك١ (Strands Factor K_1)

نوع الكتينة	معامل التصحيح ك١
كتينة مفردة	١
كتينة مزدوجة	١,٧
كتينة ثلاثية	٢,٥

٢- معامل تصحيح التشغيل ك٢ (Duty Factor K_2)

نوع المحركات	محركات كهربائية توربينات			محركات إحتراق داخلى ونقل هيدروليكي			محركات إحتراق داخلى ونقل ميكانيكي		
ساعات التشغيل اليومية / نوع التشغيل	٨ ساعات	١٦ ساعة	٢٤ ساعة	٨ ساعات	١٦ ساعة	٢٤ ساعة	٨ ساعات	١٦ ساعة	٢٤ ساعة
متقطع ولكن ثابت	١	١,٠٥	١,١	١	١,٠٥	١,١	١,٠٥	١,١	١,٢٢
مستمر وثابت	١,١	١,٢٢	١,٣٩	١,١٥	١,٣٠	١,٤٢	١,٣٣	١,٤٥	١,٦١
غير منتظم	١,٣٩	١,٥٥	١,٧٢	١,٤٣	١,٦٥	١,٧٧	١,٥٨	١,٧١	١,٨٥
غير منتظم مع صدمات شديدة	١,٧١	١,٩١	٢,١٣	١,٧٨	١,٩٦	٢,١٨	١,٨٥	٢,٠٢	٢,٢٢

٣- معامل تصحيح طول الكتينة وعدد الخطوات بها ك٣
(Number of Pitches Factor K_3)

عدد الخطوات	معامل تصحيح عدد الخطوات
من ٣٠ إلى ٤٠	٣
من ٤٠ إلى ٥٠	٢,٥
من ٥٠ إلى ٦٠	٢
من ٦٠ إلى ٨٠	١,٥
من ٨٠ إلى ١٤٠	١
من ١٤٠ إلى ١٦٠	٠,٨
من ١٦٠ إلى ١٨٠	٠,٧
من ١٨٠ إلى ٢٠٠	٠,٦
أكثر من ٢٠٠	٠,٥

٣-٣-٢ الكتائن ذات الأسنان المقلوبة (Inverted-Tooth Chain)

وتسمى هذه الكتائن الصامتة لأن صوت تشغيلها أقل ما يمكن وتفتح أسنان هذه الكتائن بما يلائم التعشيق على أسنان التروس العادية (Straight Spur Gears) وتسرى قوانين ومعادلات الكتائن ذات البكرات (Roller Chains) على هذه الكتائن. والنوع الشائع من هذه الكتائن سطحه العلوى مستوى وتمتاز هذه الكتائن بأن عمرها التشغيلى حوالى ٢٠٠٠٠ ساعة ، وتبعا لنوعية أسنان التروس التى تعمل عليها يكون

عمر الكتينة وكفاءتها لنقل القدرة والحركة. وكلما كان شكل السنة فى الكتينة والترس الذى تعمل عليه أقرب إلى الشكل الحلزونى (Volute Shape) كلما كان الصوت أقل وكفاءة النقل أعلى.

٣-٣-٣ السلاسل العادية (Crane Chains)

تستخدم هذه السلاسل (الجنازير) فى المعدات التى تدار يدويا مثل أوناش الرفع اليدوية وربط المخاطيف المائية للسفن. وتتكون هذه الجنازير من وصلات طولية كل وصلة فى مستوى متعامد على التالية لها. وتصنع هذه السلاسل من أجود أنواع الصلب الطرى إما باللحام أو بالحدادة وغالبية تصنيعها باللحام.

٣-٣-٣-١ قوة الشد للسلاسل العادية (Strength of Chains)

عند حساب قوة السلسلة يراعى أن قوة الشد بها أقل مما يتحمله جانبى السلسلة وذلك بسبب تأثير انحناء ولحام القضيب الذى تصنع منه حلقة السلسلة. ويحسب حمل الكسر(Breaking Load) بالرطل للسلاسل المصنعة من الصلب الطرى طبقا للقانون التجريبى الآتى :

حمل الكسر بالرطل = ٥٤٠٠٠ x ق^{٢} (حيث ق هى قطر القضيب المصنع من حلقات الجنزير بالبوصة)

وحمل التشغيل يجب ألا يتجاوز ثلث حمل الكسر ، وفى المعتاد يكون حمل التشغيل يتراوح بين ١ / ٤ ، ١/ ٥ حمل الكسر. وفى حالة أن يكون الجنزير مستعملا على بكرات ، فيجب أن يراعى معامل الأمان للتشغيل والجدول الآتى يبين الحمل الآمن للجنازير حسب قطر السلسلة :

قطر القضيب بالبوصة	١/٤	٣/٨	١/٢	٥/٨	٣/٤	٧/٨	١	١ ١/٨	١ ١/٤	١ ١/٢
الحمل الأمن بالطن لجنزير مفرد	١/٢	١	٢	٣	٥	٦	٨	١١	١٣	١٨
الحمل الأمن بالطن لجنزير مزدوج	٧/٨	٣ ١/٤	٣ ١/٢	٥	٩	١٠ ١/٢	١٤	١٩	٢٣	٣٢

الأحمال الموضحة بعالية بالجدول لجنازير فى حالة جيدة وسليمة.

٣-٣-٣-٢ العناية بجنازير الرفع

إن الجنازير تستعمل لرفع أحمال ثقيلة تتعرض للتآكل والتدهور الظاهر منها والخفى إذ أن تآكل الوصلات و تكرار التحميل يتسبب فى إجهادات لمادة الجنزير وشروخ قد تكون ظاهره وقد تكون غير ظاهرة فى الموصلات والتى تتسبب غالبا فى انهيار الجنزير.

لذلك لإطالة عمر الجنزير يجب تخليصه من الاجهادات التى تنتج عن تكرار التحميل وذلك بتسخين الجنزير لدرجة الاحمرار ثم تركة ليبرد ببطء.
وتستخدم الجنازير ذات الوصلات القصيرة لرفع الأحمال الثقيلة حتى يتسنى لها الاستقرار على البكرات، كما يراعى أن لايقل قطر البكرات عن ٢٥-٣٠ مرة قطر القضيب المصنعة منه الوصلات.

٣-٤ المسننات (التروس) Gears

٣-٤-١ مقدمة

تستخدم التروس ومغيرات السرعة المكونة منها لنقل القدرة والحركة بين الأعمدة المتوازية والمتعامدة والمتقاطعة والتى تقع فى مستوى واحد أو مستويين مختلفين. وجرى العرف الهندسى الآن على اعتبار نقل الحركة بالتروس من أفضل الأنظمة الميكانيكية ، وهى تربط بين مصدر القدرة والمعدة التى تدار بكفاءة عالية. وتستخدم التروس لتخفيض السرعة مع زيادة العزم غالبا ونادرا العكس مع عمل الاحتياطات اللازمة للاتجاه العكسى.

ويتم نقل القدرة والحركة بالتروس بواسطة منظومات بتركيبها على أعمدة ومغيرات للسرعة، وعند تصميم بعض مولدات القدرة الميكانيكية بغرض إدراتها لمغيرات السرعة أو أعمدة مركب عليها التروس لنقل القدرة و الحركة تكون هذه المنظومات جزءا أساسيا من مولد القدرة.

٣-٤-٢ تعريفات

تحدد بيانات التروس غالبا بالتعريفات الآتية:

١- دائرة الخطوة Pitch Circle

هى الدائرة النظرية التى تؤسس عليها كل حسابات التروس ودائرتى الخطوة لترسين متقابلين متماسين فى نقطة تقع على الخط الموصل بين مركز الترسين. وهذه النقطة تقسم المسافة بين المركزين بنسبة عدد الأسنان فى كل من الترسين ، فإذا كان قطر دائرة الخطوة للترس الأكبر هى د١ وعدد أسنانه ن١ وقطر الترس الأصغر (البنيون) هو د٢ وعدد أسنانه هو ن٢ فإن (د١/د٢)=(نق ١ / نق ٢)=(ن١/ن٢) وأن (نق ١ + نق ٢) تساوى المسافة بين مركزى الترسين. حيث نق ١ ، نق ٢ هى نصف قطرى الترسين.

٢- الخطوة الدائرية P_c (Circular Pitch)

هى المسافة الدائرية مقاسة على محيط دائرة الخطوة بين نقطتين متماثلتين على سنتين متتاليتين فإذا كان قطر دائرة الخطوة هو د وعدد أسنان الترس ن فإن الخطوة الدائرية لهذا الترس هى ط د/ ن ووحدة قياسها السنتيمتر أو البوصة وأجزائهما.

٣- الخطوة القطرية P_D (Diameteral Pitch)

وهى عدد الأسنان لكل من القطر ووحدة قياسها هو مقلوب البوصة وعليه فإن حاصل ضرب الخطوة الدائرية × الخطوة القطرية= ط

٤- الجزء العلوى من السنة (Addendum)

وهو الفرق بين نصف القطر الخارجى للترس و نصف قطر دائر ة الخطوة الدائرية (a) .

٥- الجزء السفلى من السنة (Dedendum)

وهو الفرق بين نصف قطر دائرة الخطوة الدائرية و دائرة قاع السنة (d)

٦- الإرتفاع الكلى للسنة

هو مجموع إرتفاع الجزء العلوى + الجزء السفلى (a +d)

٧- دائرة الخلوص (Clearance Circle)
هى الدائرة التى تمس الدائرة الخارجية لقطر الترس المقابل ، أى دائرة (Addendum)

٨- الخلوص
هو الزيادة التى يزيد بها الجزء السفلى من السنة (Dedendum) عن الجزء العلوى (Addendum) وهذه الزيادة حوالى ٠,١٥٧ من الجزء العلوى. أى أن الإرتفاع الكلى للسنة = ٢,١٥٧ الجزء العلوى (Addendum)

٩- دائرة القاعدة (Base Circle)
وهى الدائرة التى يبدأ من على محيطها منحنى شكل السنة ، والأعم أن يكون هذا المنحنى هو الأنفليوت (Involute Curve) .

١٠- خط الضغط (Pressure Line)
وهو خط تأثير الضغط الذى يعمل فى إتجاه القوة المنقولة من الترس القائد إلى الترس المقاد ، وهذا الاتجاه دائما عمودى على منحنى شكل السنة ، و لكى تكون الحركة منتظمة و سلسة فإن الانفليوت هو الشكل الذى يحقق ذلك.

١١- زاوية الضغط (Pressure Angle)
وهى الزاوية التى يحدثها خط الضغط (pressure Line) مع الخط العمودى على الخط الموصل بين مركزى الترسين المتقابلين ، وتستعمل الزاويتين ١٤,٥ درجة ، ٢٠ درجة لهذه الزاوية طبقا لنوعية وشكل السنة المطلوبة والقوة المراد نقلها بواسطة التروس.

١٢- سمك السنة عند دائرة الخطوة = $\frac{١,٥٧٠٨}{\text{الخطوة القطرية}}$

١٣- الموديول المترى ويقاس بالملليمتر (Metric Module)
وهو يساوى مقلوب الخطوة القطرية بالملليمتر
أو يساوى الخطوة الدائرية مضروبة x $\frac{١}{ط}$

أو يساوى القطر الخارجى للترس بالملليمتر مقسوما على (عدد الأسنان + ٢)

١٤- الموديول المتري
طبقا للموصفات الألمانية DIN بالملليمتر يساوى إرتفاع الجزء العلوى من السنة (Addendum).

٣-٤-٣ أنواع التروس
أكثر الأنواع شيوعا هى التروس الآتية :

٣-٤-٣-١ التروس ذات السنة المستقيمة
التروس ذات السنة المستقيمة الموازية لمحور التروس (St. Spur Gears) ، وهى تستخدم لنقل الحركة والقدرة بين الأعمدة بدون أن تحدث ضغوطا فى إتجاه محاور الأعمدة وغالبا ما تستعمل لنقل السرعات

المتوسطة مثل سرعات الأوناش والمعدات البحرية ومعدات الطحن. كما أنها سهلة التصنيع والصيانة بدقة عالية وتصل كفاءة النقل بها إلى حوالى ٩٥ %.

٣-٤-٣-٢ التروس ذات السنة الحلزونية (المائله)

التروس ذات السنة المائلة على محور الترس أو السنة الحلزونية (Helical Gears) . يتم تفتيح أسنان هذه التروس تبعا لحلزون على سطح الدائرة الخارجية للترس. ويمتاز هذا النوع من التروس أن أكثر من سنه من التروس المتقابلة تلتحم ببعضها أثناء الإدارة وبالتالى تزيد قوة تحمل التروس لنقل القدرة ، كما تضمن انتظام السرعة وسلاستها مما يخفض صوت المنظومة والاهتزازات بها.

وتنتج من استخدام التروس الحلزونية أحمال فى اتجاه محاور الأعمدة الأمر الذى يستدعى استعمال كراسى مقاومة لهذه الأحمال (Thrust Bearing) .

٣-٤-٣-٣ التروس ذات السنة المزدوجة الحلزونية (المائلة)

التروس ذات السنة المزدوجة المائلة على محور الترس أو السنة الحلزونية المزدوجة (Double Helical Gears – Herring Bone Gears) ، يستعمل هذا النوع من التروس عندما تكون السرعة والقدرة المراد نقلها أكبر من إمكانيات التروس المستقيمة. وتستخدم فى حالة وجود ضغوط وإهتزازات أثناء نقل الحركة ، كما تستخدم فى حالة علو نسبة خفض السرعة بواسطة مرحلة واحدة من النقل ، حيث أن الأسنان المزدوجة تلغى عمليا الضغوط المحورية ولها نفس ميزات السنة المائلة المفردة.

٣-٤-٣-٤ التروس المخروطية (Bevel Gears)

تستخدم غالبا لنقل القدرة والحركة بين الأعمدة المتعامدة ويمكن استخدامها أيضا للنقل بين الأعمدة المتقاطعة على غير الزاوية القائمة.

أ- التروس المخروطية المستقيمة (St. Bevel Gears)

تستعمل لنقل الحركة بين الأعمدة المتعامدة حيث تكون ظروف السرعة والنقل مشابهة للظروف التى تستعمل فيها التروس العادية (St. Spur Gears) . على أن تتحمل كراسى الأعمدة الأحمال المحورية التى تنتج عن استعمال التروس المخروطية.

ب- التروس المخروطية المائلة (Spiral Bevel Gears)

وتستعمل لنقل الحركة ذات السرعة العالية بين الأعمدة المتقاطعة ، ونظرا لأن القوة تنقل بأكثر من سنه فى هذه النوعية من التروس ، فإنها تستخدم عندما تكون القوة المراد نقلها أكبر من قدرة التروس المخروطية المستقيمة السنة.

ج- التروس المخروطية الحلزونية (Hypoid Bevel Gears)

تستخدم هذه التروس حيث السرعات العالية ومطلوب أن يكون صوت التروس منخفضا للغاية ، وإنتظام سرعة وقدرة النقل. وحيث أن الضغط المحورى فى هذه النوعية من التروس عالى ، لذلك بجانب كراسى مقاومة الضغط يجب أن يراعى دقة ومتانة تثبيت التروس على الأعمدة.

بجانب نقل الحركة والقدرة بالتروس فإنها تستخدم لتقليل السرعة مع زيادة العزم وتغيير اتجاه الدوران وتغيير زوايا واتجاه أعمدة الإدارة. وتعامل منظومات التروس كوحدة متكاملة وتصنع على هذا الأساس ، وقد حددت الجهات الصانعة للتروس مواصفات قياسية للتروس تنتج على أساسها لصناعة كل نوع من التروس وتحديد أغراض استعمالها للنوعيات المختلفة من المعدات.

٣-٤-٣-٥ التروس الحلزونية الدودية (Worm Gears)

تستخدم هذه التروس لنقل الحركة بين الأعمدة المتعامدة الغير متقاطعة وحيث يكون التخفيض فى السرعة عاليا. وغالبا ما يكون التعامد هو الأعم ، ولكن ذلك لا يمنع من تصميم التروس لاستخدامها للإدارة بين الأعمدة الغير متقاطعة والغير متعامدة.

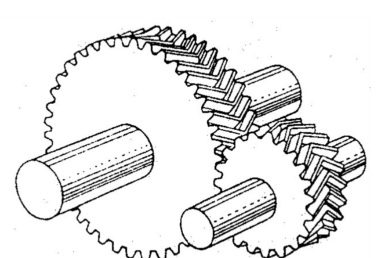
وتتكون مجموعة الإدارة الحلزونية الدودية من عامود الإدارة وبه ما يتراوح بين خطوة واحدة وثمانية خطوات على طول عامود الإدارة ولا توجد علاقة مباشرة بين عدد الخطوات وعدد أسنان الترس التى يديرها الحلزون.

وكفاءة النقل لهذه المنظومات منخفضة لأنها تعتمد على الانزلاق بين الحلزون والترس ولكنها تنقل قدرة أكبر.

وقد يكون جسم عمود الإدارة اسطوانى مشكل عليه الحلزون أو قد يكون مقعر فى الوسط وعالى فى الأطراف ومشكل عليه الحلزون لزيادة عدد الأسنان المتقابلة بين عامود الإدارة والترس الحلزوني. وتكون الإدارة بين الحلزون والترس نتيجة لدوران الحلزون حول محوره دون إزاحة أو تكون نتيجة إزاحة الحلزون على طول محوره.

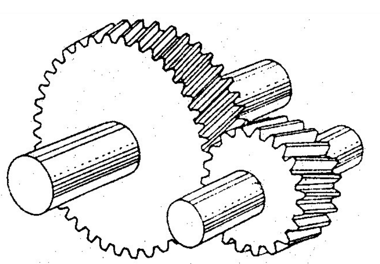
ولكى تعمل مجموعة الإدارة الحلزونية بنعومة ودقة ، يجب أن تكون خطوة عامود الإدارة (Axial Pitch) مساوية للخطوة الدائرية للترس ، ومن المعتاد أن تكون الخطوة الدائرية بالتسلسل الآتى ١ / ٤ ، ٣ / ٨ ، ١ / ٢ ، ٣ / ٤ ، ١ ، ١ $\frac{١}{٤}$ بوصة ويمكن إستخدام الخطوة القطرية فى مجموعات الإدارة الحلزونية مثل التروس تماما.

٣-٤-٤ بيان بأنواع التروس المختلفة



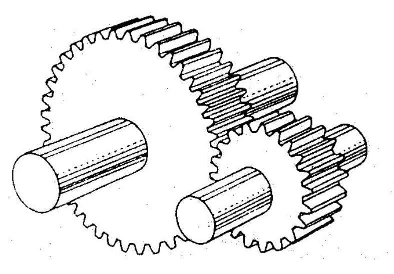
تروس ذات أسنان مزدوجة ومائلة على محور التروس وموازية له

Double Helical Gears



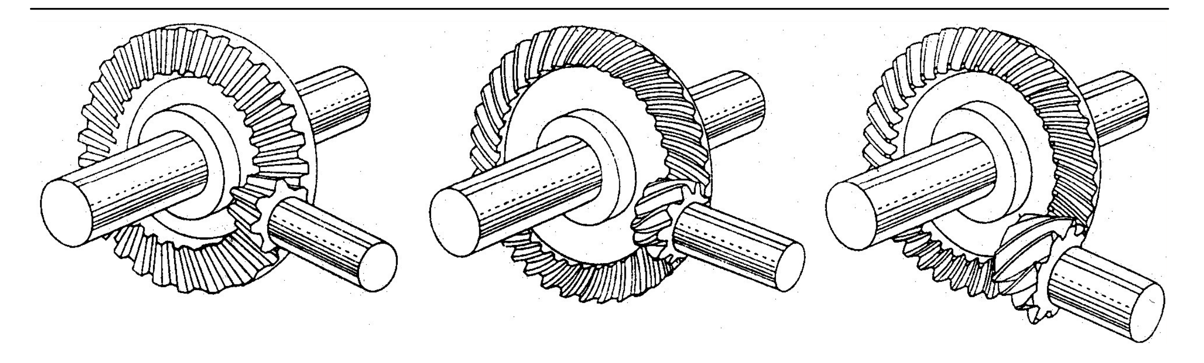
تروس ذات أسنان مائلة على محور التروس وموازية له

Helical Gears



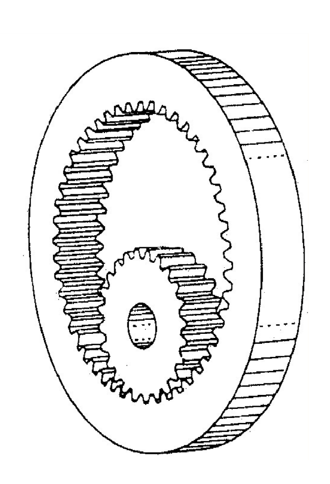
تروس ذات أسنان مستقيمة موازية لمحور التروس

St. Spur Gears

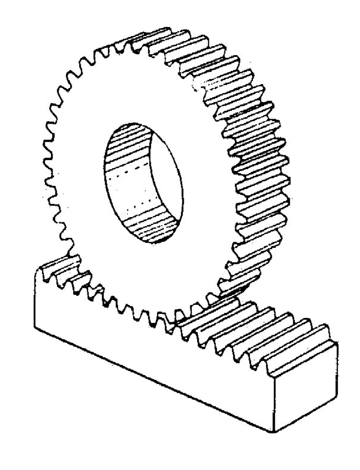


تروس مخروطية ذات أسنان حلزونية
Spiral Bevel Gears.
Hypoid Bevel Gears.

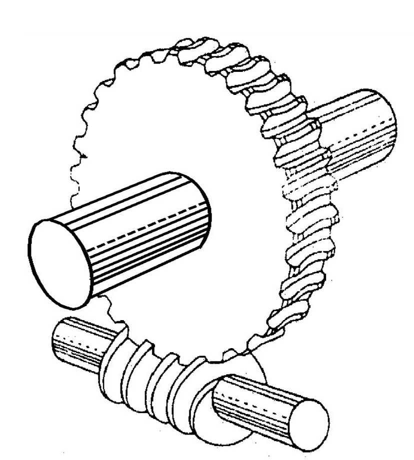
تروس مخروطية ذات أسنان مستقيمة
St. Bevel Gears.



تروس داخلية
Internal Gears.



تروس مستقيمة وجريدة مسننة
Rack and Gears.



تروس دودية
Worm Gears.

٣-٤-٥ صناديق السرعات Gear Boxes

يتكون صندوق السرعات من مجموعة من التروس بغرض تغيير السرعة أو تغيير إتجاه الدوران أو تقليل أو زيادة السرعة أو كل هذه المتغيرات ، ويحتوى صندوق السرعة على مجموعات من التروس يتم تصميمها وترتيب تسلسلها لتحقق أى من الأغراض المذكورة ، ويراعى فى تصميمها تغير السرعات والعزوم وبالتالى أبعاد الأسنان ونوعيتها. كما يحدد تغيير إتجاه الدوران نوعيات التروس المكونة لصندوق السرعات وتحدد السرعة التى تدار بها المعدة نسب التخفيض فى السرعات وبالتالى عدد المجموعات المكونة لصندوق السرعة.

ولإختيار مجموعة التروس المناسبة لنقل الحركة من مصدرها إلى المعدة المراد تشغيلها ، يجب تحديد القوة المراد نقلها ونسبة التخفيض فى السرعة بين مصدر القوة والمعدة المراد تشغيلها ، مع الأخذ فى الاعتبار كفاءة مجموعات التروس التى ستقوم بنقل الحركة والقدرة وتصل هذه الكفاءة إلى حوالى ٩٨ % فى صناديق السرعة المركب بها تروس ذات أسنان مستقيمة أو تروس مائلة أو تروس ذات أسنان مائلة مزدوجة أو تروس مخروطية مستقيمة أو مائلة أو حلزونية.

بينما تنخفض الكفاءة لتتراوح بين ١٠ % ، ٩٥ % فى حالة استعمال التروس الحلزونية Worm Gear Sets على أساس نسبة السرعة. وعادة تنشر معظم الشركات الصانعة للتروس كفاءة نقل القدرة والحركة بالتروس وتكويناتها التى تصنعها. وصناديق نقل السرعة إما أن تكون من تكوين مفرد أو متعدد طبقا لنوعية التروس ونسبة التخفيض فى السرعة (r.p.m) والزيادة فى العزم (Torque) والقدرة بالحصان. ويراعى فى كراسى تحميل الأعمدة المركب عليها التروس أن تقاوم الضغوط بأنواعها المختلفة طبقا لنوع التروس وأن تتحمل الأحمال التى ستنقلها صناديق التروس. وأصلح أنواع الكراسى لأعمدة صناديق السرعة هى كراسى البلى بأنواعها المختلفة.

ويراعى فى تجميع التروس بأعمدتها داخل صندوق التروس أن يكون الخلوص بين التروس دقيقا للحسابات وأن تكون محاور الأعمدة مطابقة تماما للرسومات والخلوص المسموح به. وبعد تقفيل التروس داخل صندوقها يجب التأكد من سلامة التزييت وتشحيم الكراسى طبقا لنوعية التروس وعددها. ويكون التزييت إما بالرش أو جبريا بواسطة طلمبات تزييت لتغذية الزيت ورشه على التروس.

ويراعى أن يكون التزييت على سطح السنة وبالكمية التى تقلل الإحتكاك إلى أقل قدر ممكن وتبريد التروس نتيجة للحرارة المتولدة من الإحتكاك.

ونظرا لصعوبة ضبط استقامة أعمدة مجموعة نقل القوة بين مصدر القدرة والوحدة المراد تشغيلها وبينهما صندوق التروس ، فقد جرت العادة على أن يكون صندوق السرعة جزءا من وحدة توليد القدرة فى الوحدات الصغيرة وبالذات الكهربائية ، وفى الوحدات الكبيرة ولضمان عدم نقل الاهتزازات بين مكونات المجموعة فإنه تستخدم وحدات الربط الميكانيكية (الكبالن) ذات الكفاءة العالية للتوصيل بين مكونات المجموعة. وهذا لا يمنع من التدقيق الشديد لاستقامة مختلف أعمدة المجموعة وضبط توازنها وزواياها. كما يركب فى بعض الأحيان محدد للعزم (Torque Limit Switches) فى صناديق التروس حيث يوجد احتمال للحمل الزائد المفاجئ (Over Load) أو زيادة فى السرعة عن المقرر.

كما يراعى أن لا تزيد درجة حرارة التروس عن المعدل المقرر لها الذى توضحه الشركات الصانعة. ويجب مراعاة نوعية التحميل الذى ينقل إليه صندوق التروس القدرة الميكانيكية طبقا لنوعية تشغيل الأحمال وفيما يلى جدول معاملات التحميل :

١ـ معامل التحميل للتروس ذات الأسنان المزدوجة المائلة على محور التروس وللتروس المخروطية

	المحركات الكهربائية والتربينات البخارية			محرك احتراق داخلى متعدد الاسطوانات			محرك احتراق داخلى أحادى الاسطوانة		
أنواع التحميل على المعدة المدارة	٨ ـ ١٠ ساعة يوميا	٢٤ ساعة يوميا	حمل متقطع ٣ ساعات يوميا	٨ ـ ١٠ ساعة يوميا	٢٤ ساعة يوميا	حمل متقطع ٣ ساعات يوميا	٨ ـ ١٠ ساعة يوميا	٢٤ ساعة يوميا	حمل متقطع ٣ ساعات يوميا
أـ حمل منتظم	١,٠٠	١,٢٥	٠,٨٠	١,٢٥	١,٥٠	١,٠٠	١,٥٠	١,٧٥	١,٢٥

	المحركات الكهربائية والتربينات البخارية			محرك احتراق داخلى متعدد الاسطوانات			محرك احتراق داخلى أحادى الاسطوانة		
ب- حمل غير منتظم برفق	١,٢٥	١,٥٠	١,٠٠	١,٥٠	١,٧٥	١,٢٥	١,٧٥	٢,٠٠	١,٥٠
ج- حمل غير منتظم بعنف	١,٧٥	٢,٠٠	١,٥٠	٢,٠٠	٢,٢٥	١,٧٥	٢,٢٥	٢,٥٠	٢,٠٠

٢- معامل التحميل لمخفضات السرعه ذات التروس الأسطوانيه الدوديه والحلزونيه الدوديه

Single and Double Reduction Cylindrical Worm and Helical Worm Speed Reducers

المحرك للمجموعة	مدة التشغيل فى اليوم	تصنيف التحميل		
		منتظم	متقطع غير منتظم برفق	متقطع غير منتظم بعنف
محركات كهربائية	غير منتظم لمدة ١ / ٢ ساعة	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٠٠
	متقطع ٢ ساعة	٠,٩٠	١,٠٠	١,٢٥
	مدة ١٠ ساعات	١,٠٠	١,٢٥	١,٥٠
	مدة ٢٤ ساعة	١,٢٥	١,٥٠	١,٧٥
محركات إحتراق داخلى متعدد الإسطوانات	غير منتظم لمدة ١ / ٢ ساعة	٠,٩٠	١,٠٠	١,٢٥
	متقطع ٢ ساعة	١,٠٠	١,٢٥	١,٥٠
	مدة ١٠ ساعات	١,٢٥	١,٥٠	١,٧٥
	مدة ٢٤ ساعة	١,٥٠	١,٧٥	٢,٠٠
محركات إحتراق داخلى أحادى الإسطوانة	غير منتظم لمدة ١ / ٢ ساعة	١,٠٠	١,٢٥	١,٥٠
	متقطع ٢ ساعة	١,٢٥	١,٥٠	١,٧٥
	مدة ١٠ ساعات	١,٥٠	١,٧٥	٢,٠٠
	مدة ٢٤ ساعة	١,٧٥	٢,٠٠	٢,٢٥

ويصنف الاتحاد الامريكى لصناع التروس
American Gear Manufactures Association (A.G.M.A.)
صناديق السرعة طبقا لما يلى :

التصنيف الأول Class I
ويشمل هذا التصنيف التروس وصناديق التروس للأحمال المنتظمة لمدة ٨ ساعات والأحمال المتقطعة ذات الصدمات الرقيقة ومعامل الخدمة لها = ١,٠ .

التصنيف الثانى Class II
ويشمل هذا التصنيف التروس وصناديق التروس للأحمال المنتظمة لمدة ٢٤ ساعة والأحمال المتقطعة ذات الصدمات الرقيقة ولمدة ٨ ساعات ومعامل الخدمة لها = ١,٤ .

التصنيف الثالث Class III
ويشمل هذا التصنيف التروس وصناديق التروس للأحمال المتقطعة الرقيقة لمدة ٢٤ ساعة والأحمال المتقطعة ذات الصدمات العنيفة لمدة ٨ ساعات ومعامل الخدمة لها = ٢ .

٣-٤-٦ الاحتياطات الواجب اتخاذها عند بدء تشغيل مجموعات التروس

اعتادت بعض الشركات الصانعة والموردة للتروس وصناديق السرعة دهان أجزائها الداخلية بمادة شحميه ضد الصدأ ولا توجد ضرورة لإزالتها عند بدء التشغيل.

عندما تورد صناديق السرعة ويستعمل فيها التزييت الجبرى يجب التأكد عند بدء التشغيل من عمل دورة التزييت وطلمبة التزييت. وفى حالة تركيب جهاز قياس لضغط الزيت يجب التأكد من أن الضغط مطابق لما توصى به الشركة الصانعة ، وفى حالة عدم ذكره يجب أن يتراوح ضغط زيت التزييت بين واحد وأثنين ضغط جوى (١ كجم / سم^{٢} - ٢ كجم / سم^{٢}) مع مراعاة أن لا تزيد درجة الحرارة عن ٧٠ مئوية ويمكن ضبط صمامات ضغط الزيت ودورته لتحقيق ذلك.

وجرت العادة أن يبدأ التشغيل بحمل جزئى لمدة يومين ثم يزداد الحمل تدريجيا مع مراقبة درجة الحرارة. وبعد التشغيل لمدة أسبوعين يتم تفريغ الزيت المستعمل وغسل صندوق التروس من الداخل لإزالة أى مخلفات تشغيل سواء من التصنيع أو التشغيل المبدئى ، ويمكن تكرير الزيت الذى تم تفريغه وإختباره ثم إعادة استعماله. وبعد ذلك يستعمل الزيت الجديد لمدة ٢٥٠٠ ساعة أو مدة ستة شهور للتشغيل العادى. وفى حالة التشغيل الغير عادى وزيادة درجة حرارة الزيت عن ٦٥ درجة مئوية ، فإنه يستحسن أن يتم تغيير الزيت كل شهرين ويراعى ذلك فى المناطق ذات الرطوبة العالية.

يراعى أن تكون الزيوت المستخدمة من نوعية عالية الجودة وباللزوجة المحددة ويجب أن لا يكون لها تأثير صدئى على التروس وصالحة للاستعمال فى مدى واسع من تغيير درجة الحرارة.

٣-٤-٧ الصيانة الدورية لصناديق التروس ومكوناتها

فى ظروف التشغيل العادية يجب إجراء كشف يومى على مجموعات التروس للتأكد من عدم تسرب زيوت التزييت أو وجود أصوات غير عادية نتيجة للتشغيل.

٣-٥ نقل القدرة بالوسائل الهيدروليكية Hydraulic power transmission

٣-٥-١ تعريفات

النقل بالوسائل الهيدروليكية هو نقل القدرة بواسطة السوائل وذلك بإستخدام مضخات الإزاحة الإيجابية والمحركات الهيدروليكية. وتعرف مضخة الإزاحة بأنها المضخة التى تضخ خلال كل لفة من لفاتها كمية

محدودة من السائل تحت ضغط. وكذلك يعرف المحرك الهيدروليكى بأنه المحرك الذى يستقبل كمية محدودة من السائل المضخوخ وذلك خلال كل لفة لتعطى طاقة حركة.

وتدار المضخة عادة بمحرك كهربائى أو تدار بمحرك إحتراق داخلى أو تدار بواسطة محرك هوائي. والطاقة التى تدار بها المضخة تتحول بواسطتها إلى طاقة ذات ضغط عالى للسائل المستخدم ، وينقل هذا السائل المضغوط إلى المحركات الهيدروليكية لتتحول الطاقة ثانية إلى طاقة ميكانيكية بواسطة المحرك.

وتشتمل المجموعة الهيدروليكية بجانب المضخة والمحرك الهيدروليكى على خطوط مواسير الضغط العالى والصمامات التى تتحكم فى العمليات الآتية :

١- إتجاه دوران المحرك الهيدروليكي.
٢- سرعة دوران المحرك الهيدروليكي.
٣- تحقيق أكبر عزم من المحرك الهيدروليكي.
٤- تتابع دوران المحرك الهيدروليكي.
٥- تنظيم كمية السائل المضخوخ من المضخة إلى المحرك.

٣-٥-٢ مضخات الإزاحة الإيجابية Positive displacement pumps

توجد ثلاثة أنواع رئيسية لمضخات الإزاحة الإيجابية وهى :

أ- مضخة التروس Gear Pump وتعطى ضغط من ١٠٠ - ٢٥٠٠ رطل / البوصة المربعة.
ب- مضخة المراوح Vane Pump وتعطى ضغط من ٥٠٠ - ٣٠٠٠ رطل / البوصة المربعة.
ج- مضخة الكباسات Piston Pump وتعطى ضغط من ٣٠٠٠ - ١٠٠٠٠ رطل / البوصة المربعة.

وفى الثلاثة أنواع يقوم الجزء الدوار أو المتحرك من أجزاء المضخة بسحب السائل من فتحة الدخول إلى فتحة الخروج مع إكسابه ضغطا كافيا لإدارة المحرك الهيدروليكى بحمله ، ومقاومة الإحتكاك فى مواسير النقل والصمامات.

٣-٥-٢-١ مضخات التروس Gear Pumps

تتكون المضخة من جسم خارجى به فتحتى الدخول والخروج ومركب بداخله ترسين متطابقين يدير أحدهما الآخر داخل جسم المضخة ، والسطح الداخلى للمضخة مجلخ وبالخلوص المناسب بينه وبين الترسين. وعند الدوران يدور الترسان فى اتجاهين عكسيين وتنقل الفراغات بين أسنان الترسين وجسم المضخة السائل الهيدروليكى من عند فتحة الدخول إلى فتحة الخروج.

وتتوقف كفاءة المضخة على نسبة الخلوص بين الترسين وبينهما وبين السطح الداخلى لجسم المضخة ، فكلما زاد الخلوص كلما قلت الكفاءة وقل الضغط للمضخة ، لذلك يجب أن يكون الخلوص دقيق جدا وبما لا يتسبب فى نقص الكفاءة أو زيادة الإحتكاك بين أسنان الترسين وبين السطح الداخلى لجسم المضخة ، وبما يكسب السائل الهيدروليكى الكمية والضغط اللازمين لتشغيل المحركات وتنظيم أداء الصمامات.

٣-٥-٢-٢ مضخات المراوح Vane Pumps

تتكون مضخات المراوح من الجسم الخارجى وبداخله الجزء الأسطوانى الدوار ، وبهذا الجزء توجد مجارى قطرية على زوايا متساوية تتحرك بداخلها ريش حرة إلى الخارج ، وعند الدوران تلامس هذه الريش السطح الداخلى للمضخة ، ولتتم عملية الإزاحة توجد مسافة بين محور المضخة ومحور الجزء

الاسطوانى الدوار بحيث يزيد الفراغ بين الجسمين عند فتحة المص ويقل عند فتحة الخروج وبذلك يمكن سحب وضغط السائل الهيدروليكى من فتحة المص إلى فتحة الخروج بواسطة الريش. وتتخذ الاحتياطات اللازمة عند التصميم والتصنيع لتحقيق توازن المضخة نتيجة اختلاف المحاور. ومن الأمثلة المهمة لمضخات المراوح مضخة الكامات وهى التى تتحرك الريش فيها من الجزء الثابت من المضخة بواسطة الكامات المركبة على الجزء الدوار.

والتسرب الذى يحدث فى المضخات أقل من نظيره فى مضخات التروس وبالتالى فإن كفاءتها وتصرفها أعلى من كفاءة وتصرف مضخات التروس.

٣-٥-٢-٣ مضخات ذات المكبس Piston Pumps

تتكون مضخة المكابس من جسم المضخة حيث به الاسطوانات التى تتحرك المكابس بها ترددياً لتحقيق عملية المص والكبس داخل الاسطوانات عن طريق صمامات المص والتفريغ.

وتنقسم هذه المضخات إلى نوعين رئيسيين :

١- المضخات التى تتحرك فيها المكابس موازية لمحور أسطوانة الجسم ومنها نوعين رئيسيين :
   أ- النوع ذو القرص المتراوح Swash Plate Type .
   ب- النوع ذو القرص القلاب Tilting Block Type .

٢- المضخات التى تتحرك بها المكابس إشعاعيا Radial Piston Type وفى هذا النوع يكون القرص الحامل لاسطوانات المكابس غير متمركز مع دائرة المكابس - ونتيجة للحركة الدائرية النسبية بين القرص ودائرة المكابس يحدث المص والضخ.

٣-٥-٣ المحركات الهيدروليكية Hydraulic Motors

المحرك الهيدروليكى هو المحرك الذى يكتسب سرعة دوران مستمر نتيجة لضغط وسريان السائل داخل أجزائه.

ويتبع المحرك الهيدروليكى المضخات فى نوعياتها وتوجد محركات التروس ومحركات المراوح ومحركات المكابس ، مع بعض التعديلات اللازمة للإدارة.

لدراسة المضخات والمحركات الهيدروليكية يجب الاتفاق على توحيد بعض المعاملات التى تحدد خصائصها. ففى مجال المضخات لابد من تحديد كمية تصرفها وأكبر ضغط تكسبه للسائل وعادة تقاس كمية التصرف بالجالون فى الدقيقة أو اللتر / ثانية عند سرعة محددة ، وغالبا ما تكون سرعة المحرك الكهربائى الذى يدير المضخة عند ذبذبة ٥٠ ذبذبة لكل ثانية تتراوح بين ١٠٠٠ إلى ١٥٠٠ لفة فى الدقيقة. فى مجال المحركات الهيدروليكية تحدد خصائص المحرك بأكبر وأقل سرعة وأكبر وأقل عزم وكمية السائل وضغطها للفة الواحدة من المحرك.

ويمكن تلخيص أداء المضخات والمحركات الهيدروليكية للتصرف الثابت فيما يلى :

أ- يتحدد العزم الذى يعطيه المحرك بمقدار الحمل ومقاومته.
ب- الضغط اللازم لإدارة المحرك يرتبط بالعزم المطلوب الحصول عليه من المحرك.
ج- الضغط المطلوب من المضخة هو الضغط اللازم لإدارة المحرك على الحمل ومقاومة الإحتكاك فى خطوط المواسير وفى صمامات التحكم.
د- تصرف المضخة هو المكافئ لتشغيل المحرك والفاقد نتيجة التسرب.

٣-٥-٤ الصمامات الهيدروليكية Hydraulic Valves

تصنع الصمامات من الصلب أو الزهر وبها مكونات متحركة ومانعة للتسرب وتصمم الصمامات لتقوم بالمهام الآتية :

أ- تحديد إتجاه السريان فى المنظومة الهيدروليكية Directional Control Valves .

ب- تحديد الضغط داخل المنظومة Pressure Control Valves .

ج- تحديد كمية السائل التى تسرى داخل أجزاء المنظومة Flow Control Valves .

٣-٥-٤-١ صمامات تحديد إتجاه السريان Directional Control Valves

وهذه الصمامات عبارة عن قضيب (Spool) إما منزلق أو دوار أو له الحركتين معا لتغيير إتجاه مسار السائل داخل المحرك وبالتالى تغيير إتجاه دورانه.

وقد تكون حركة القضيب (Spool) يدويا أو ميكانيكيا طبقا لطبيعة تغيير الدوران.

٣-٥-٤-٢ صمامات تحديد الضغط Pressure Control Valves

ويوجد نوعان من هذه الصمامات :

أ- النوع الأول يحدد الضغط فى أى موقع من المجموعة الهيدروليكية وذلك بأنه إذا زاد الضغط عن القدر المطلوب فإنه يضغط على ياى ليصل السائل المضغوط إلى فتحة الخروج الموصلة إلى الضغط العادي.

ب- النوع الثانى يخفض الضغط إلى الحد المطلوب قبل سريان السائل فى المجموعة.

٣-٥-٤-٣ صمامات تحديد كمية السائل الذى يسرى داخل المجموعة Flow Control Valves

وهذه الصمامات فى أبسط صورها عبارة عن فتحة يمر فيها السائل وبداخل هذه الفتحة صمام يتحرك لتوسيع أو لتضييق مساحة الفتحة للسماح للكمية اللازمة للمرور والزائد عنه يمرره إلى خزان السائل المرتجع. وتعمل هذه الصمامات لتحقيق ثبات كمية السائل اللازم لإدارة المحرك الهيدروليكى.

٣-٥-٥ أنظمة النقل الهيدروليكى Hydraulic Transmission Systems

إن انتشار أنظمة النقل الهيدروليكى يرجع إلى سهولة السيطرة عليها من ناحية السرعة والعزم وإتجاه الدوران وسلامة وأمان التشغيل وهى أكثر أمانا من الأنظمة الميكانيكية والكهربائية. كما أنه يمكن التحكم فى العزم بعدة طرق ، منها تغيير شدة الياى فى صمام التسريب أو تغيير السرعة كما يمكن تغيير إتجاه الدوران فى المضخة أو المحرك الهيدروليكى بتغيير إتجاه دخول السائل الهيدروليكي. ويمكن تلخيصها فى أربعة تكوينات :

١- مضخة ثابتة التصرف تدير محرك هيدروليكى ثابت التصرف لكل لفة

وهذا يعطى نسبة ثابتة للدوران بين المضخة والمحرك وهذا يقابل الإتصال المباشر بين المحرك والآلة المدارة فى النقل الميكانيكي.

٢- مضخة ثابتة التصرف تدير محرك هيدروليكى متغير التصرف لكل لفة

ينتج عن النقص فى تصرف المحرك زيادة السرعة ونقص العزم والعكس صحيح.

٣- مضخة متغيرة التصرف تدير محرك ثابت التصرف لكل لفة
وينتج عن ذلك عزم ثابت وسرعة متغيرة وعندما لا يكون هناك تصرف فإن ذلك يماثل عدم التعشيق فى النقل الميكانيكى وهذا النقل يمكن تغيير إتجاه دورانه دون حاجة إلى وجود صمامات موجهة.

٤- مضخة متغيرة التصرف تدير محرك هيدروليكى متغير التصرف لكل لفة
هذا لتكوين إما قدرة ثابتة أو عزم ثابت ويمكن الحصول على مدى واسع من السرعة عندما تعطى المضخة أكبر تصرف يأخذ المحرك أقله.

ومن هذه التكوينات الأربعة ومع استعمال الصمامات بأنواعها يمكن الحصول على إدارة ميكانيكية تقابل كل المتطلبات وذلك بالتحكم فى المضخة والمحرك الهيدروليكيين. وتبين تعليمات المصنعين للمضخات والمحركات والصمامات الهيدروليكية أى من الخيارات الآتية .

١- التحكم اليدوى فى المضخة.
٢- تحكم بواسطة صمامات وأداء المضخة والمحرك.
٣- التحكم للحصول على قدرة ثابتة وذلك بتنظيم الضغط ومعدل السريان.
٤- التحكم فى تثبيت الضغط وذلك يسيطر تلقائيا على معدل السريان.

ومن التكوينات المختلفة من هذه الحالات الأربع يمكن الحصول على الوضع المناسب للتشغيل .

ويكون التشغيل إما بواسطة الاسطوانات أو المحركات الهيدروليكية ويمكن المقارنة بينهما.

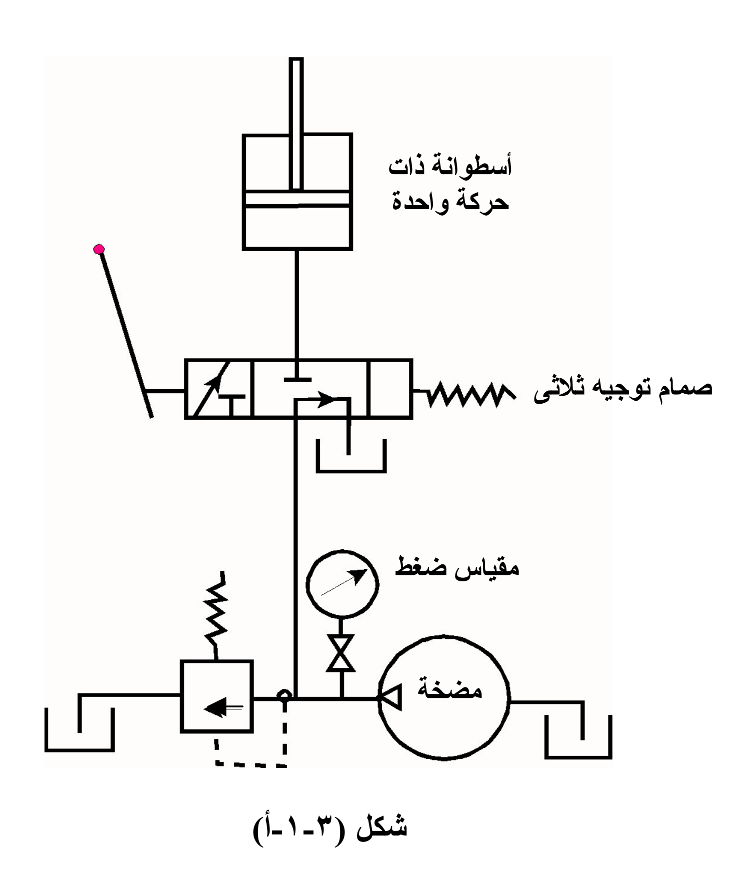
اختيارات الاسطوانات	اختيارات المحركات
١- اختيار دائما للحركة وعكس اتجاهها.	١- يمكن عكس الحركة فيها ويمكن أن تعمل فى اتجاه دوران واحد دائما.
٢- الأجزاء المتحركة مانعة للتسرب.	٢- الأجزاء المتحركة غير مانعة للتسرب.
٣- هناك تغير فى معدل السريان يتوقف على اتجاه حركة مكبس الاسطوانة لوجود ذراع المكبس فى ناحية واحدة.	٣- معدل السريان ثابت فى أى من اتجاهى الدوران.
٤- تحتاج كمية سائل هيدروليكى كبير وبالتالى خزان كبير للسائل.	٤- كمية السائل اللازمة ضئيلة.
٥- قوة الممانعة صغيرة بالنسبة للقوة العاملة.	٥- عزم البدء يقلل من عزم التشغيل.

وتستعمل الاسطوانات فى الدوائر الهيدروليكية المفتوحة بينما تستعمل المحركات فى الدوائر الهيدروليكية المفتوحة والمغلقة.

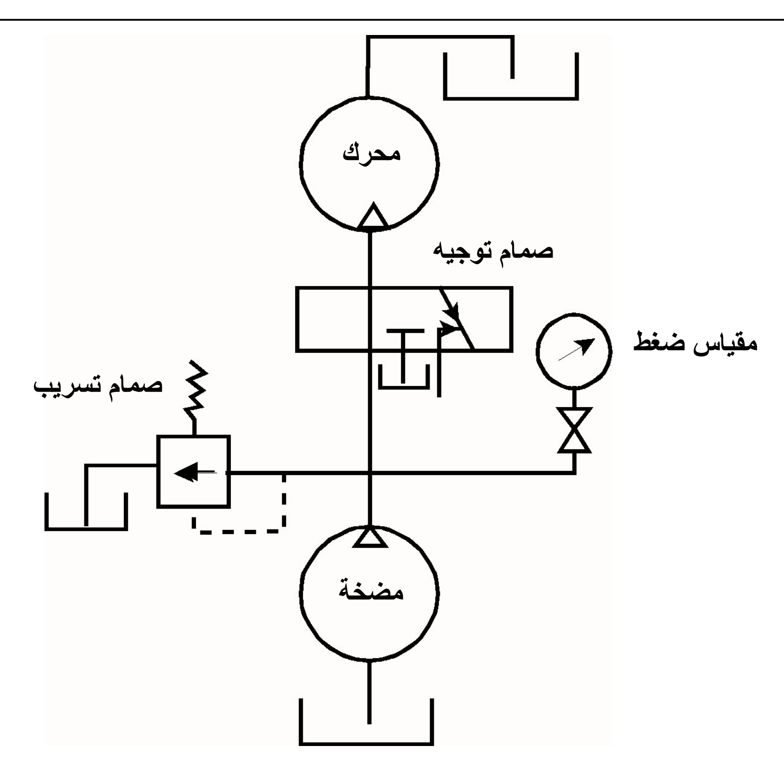
٣-٥-٥-١ أنظمة الدائرة المفتوحة المفردة Open Circuit Systems

وفيها يسحب السائل الهيدروليكى من الخزان بواسطة الطلمبة ويضغط إلى الاسطوانة أو المحرك خلال صمام ثلاثى للاسطوانة أو ثنائى للمحرك وتكون الحركة واحدة فى الاسطوانة ودورانية ذات اتجاه واحد ثم يعود السائل الهيدروليكى إلى الخزان والشكل رقم ٣-١-أ ، ٣-١-ب يبين الدائرة الهيدروليكية لكل منها.

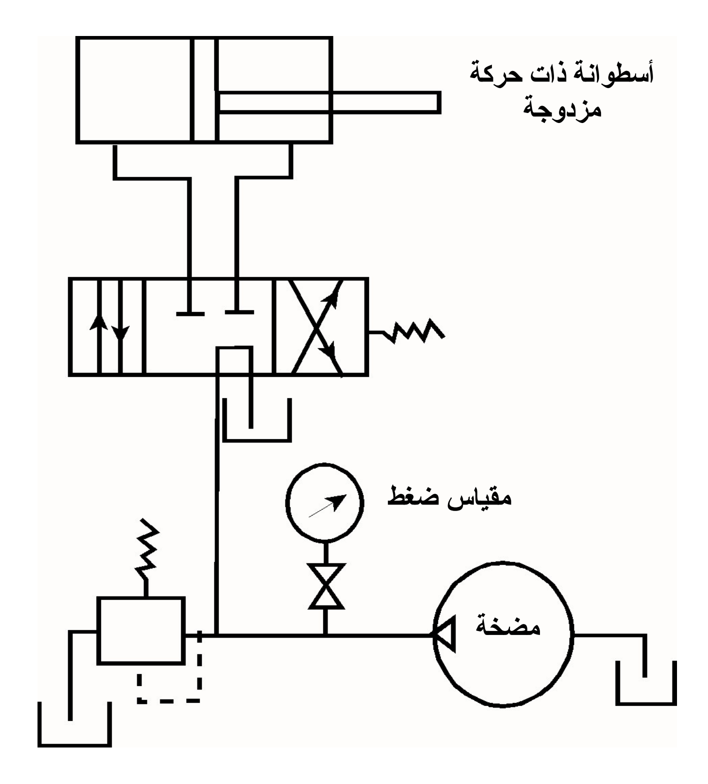
والشكل ٣-٢-أ ، ٣-٢-ب يوضح الدوائر الهيدروليكية للتغذية المزدوجة للأسطوانة والمحرك ويعود السائل الهيدروليكى إلى الخزان.



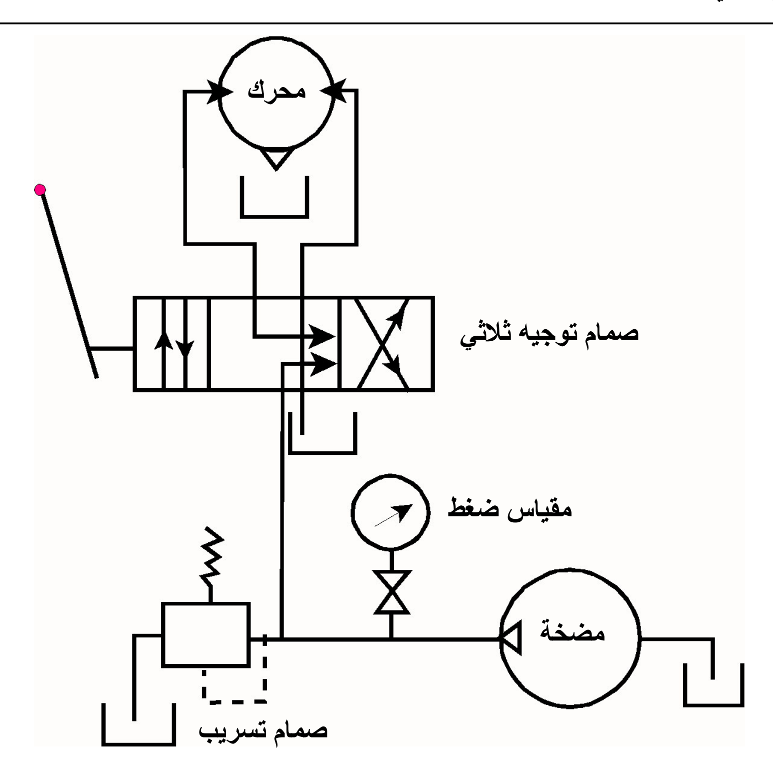
شكل (٣-١-أ)



شكل (٣-١-ب)



شكل (٣-٢-أ)



شكل (٣-٢-ب)

٣-٥-٥-٢ أنظمة الدائرة المفتوحة المركبة
Multi Motors Open Circuit System

وفى هذه الأنظمة تغذى المضخة أكثر من محرك هيدروليكى تكون متصلة على التوالى أو على التوازي. ففى حالة التوصيل على التوالى مع ثبات الكمية اللازمة لكل محرك فإن السرعة تقل على خط التوصيل لنقص الضغط من محرك إلى أخر.

وسيتمثل الضغط الداخل إلى المحركات فى فاقد الضغوط فى المحركات مضافا إليه فاقد الضغط فى أجزاء خط التوصيل ومضافا إليه ضغط الخروج من آخر محرك.

وعلى ضوء العزم المستهدف من كل محرك يكون حساب الضغط الخارج من المضخة وحساب توزيعه على المحركات بعد طرح الفواقد منه لمعرفة الضغط الداخل إلى كل محرك والخارج منه وبالتالى معرفة العزم الذى يحققه كل محرك. وفى حالة التوصيل على التوازى فإن تصريف المضخة يحدده التصرف اللازم لكل محرك ويتم تقسيم هذا التصرف بواسطة صمام توزيع لتقسيم التصرف بين المحركات.

٣-٥-٥-٣ أنظمة الدائرة المغلقة Closed Circuit Systems

وتتكون هذه الأنظمة من مضخة متصلة إتصالا مباشرا بالمحرك الهيدروليكى دون وجود صمام توجيه بينهما. ويحدد العزم المطلوب بالتحكم فى الضغط بواسطة صمام ضبط الضغط Relief Valve ، وفى هذه الحالة وفى حالة استعمال مضخة تروس ، فلا مجال للدوران فى اتجاهين نظرا للفرق بين ضغط الدخول وضغط الخروج من المضخة وبالتالى يكون المحرك ذا اتجاه واحد.

٣-٥-٦ التبريد والتكرير فى الدوائر المفتوحة والمغلقة
Filtration and Cooling in Open and Closed Circuits

يعتبر التكرير من أهم عناصر تشغيل وانتظام الدوائر الهيدروليكية لأن دقة خلوص مكونات الدوائر الهيدروليكية يقتضى أن يكون السائل الهيدروليكى على أعلى درجة من النقاوة وخالى تماما من الشوائب. لذلك تستخدم الفلاتر والمرشحات لتحقيق ذلك.

ففى جميع الدوائر المفتوحة يركب فلتر على بدء خط المص داخل خزان السائل الهيدروليكى وذلك لحماية المضخة ولزيادة حماية أجزاء الدائرة.

وفى الدوائر المغلقة التى تستخدم فيها المضخات العاكسة Reversible Pumps ، فإنه تستخدم فلاتر الضغط المنخفض والميكرونى فى خط التغذية من المضخة المساعدة. وتستخدم المياه أو الهواء لتبريد السائل الهيدروليكى لكل من الدوائر الهيدروليكية المفتوحة والمغلقة.

ففى الدوائر المفتوحة يستخدم خزان للتبريد لا تقل سعته عن ضعف تصرف الطلمبة الهيدروليكية فى الدقيقة واستخدام التبريد الاجبارى يكون عندما يكون حجم خزان التبريد محددا بمكان تركيبه .

أما فى الدوائر المغلقة فإن الحاجة للتبريد تنتج من التسرب الذى يعود إلى خزان السائل الهيدروليكى ونتيجة لتغير ضغط السائل من الضغط المرتفع إلى الضغط الجوى .

وعادة يكون التبريد فى هذه الدائرة بواسطة مبادل حرارى Heat Exchanger فى نهاية خط الراجع وداخل خزان السائل الهيدروليكى أو قبل الدخول إليه .

٣-٥-٧ أهمية استخدام الدوائر الهيدروليكية فى نقل الحركة

إن استخدام النقل الهيدروليكى للحركة أصبح يشمل معظم الصناعات وبواسطته يمكن بمضخة هيدروليكية ومجموعة من الصمامات ومنظمات الضغط استحداث حركة متغيرة السرعات و العزوم وحركات خطية متعددة.

ويمكن تلخيص أهمية وميزات استخدام الدوائر الهيدروليكية :

أ- السيطرة الكاملة على مدى واسع من السرعة يفوق أى سيطرة فى الأنظمة الأخرى.
ب- الكفاءة العالية لاستخدام مدى واسع من العزم.
ج- استخدام الفرامل بأقل قدر أو الاستغناء عنها.
د- الاستغناء عن مجموعات التروس والقوابض لعكس الحركة.
هـ- صغر النسبة بين وزن المعدة الهيدروليكية وقدرتها Weight Per Horse Power .
و- الحرية فى أوضاع أعمدة الإدارة ونقل الحركة.
ى- صغر المساحة التى تستخدم فيها الأنظمة الهيدروليكية مقارنة بالمساحة للأنظمة الميكانيكية.

٣-٥-٨ خواص وأسس اختيار الزيوت الهيدروليكية

تستخدم الزيوت المعدنية بعد تنقيتها وإضافة بعض المكونات إليها لإكسابها عدة خواص متميزة لأغراض نقل الحركة هيدروليكيا فى تنظيم مجالات نقل الحركة هيدروليكيا. وقد يستخدم الماء فى حالات استخدام السائل الهيدروليكى بكميات كبيرة وحيث يتم تصريفه دون إعادة استعماله كما فى حالات الأهوسة والبوابات. وقد يضاف إلى الماء زيوت بنسبة ١ – ٥ % لتكوين سائل لبنى لتقليل قابلية الماء لإحداث الصدأ والتأكسد فى حالات استخدام الماء لتبريد أدوات قطع المعادن.

الخواص الأساسية والضرورية للسائل الهيدروليكى هى :

٣-٥-٨-١ مقاومة الاحتراق

ويتم ذلك بإضافة مكونات كيميائية إلى الزيوت أو الماء إلى الزيوت المعدنية وأحدث إستخدام للماء هو بتكوين سائل هيدروليكى لبنى بنسبة من ٥ - ١٥ % زيوت معدنية قابلة للذوبان ومواد كيماوية لمقاومة الاحتراق.

٣-٥-٨-٢ مقاومة الانضغاط

يقل حجم الزيت عند تعرضه للضغط وتتوقف كمية النقص فى الحجم على كمية الضغط التى يتعرض له الزيت ، ونفترض التغير فى الحجم بالتغير فى الكثافة وتبلغ نسبة النقص فى الحجم ٥ % لكل ٧٠ كجم ضغط / السنتيمتر المربع حتى ٣٥٠ كجم / السنتيمتر المربع. ويجب أن لا نهمل تأثير درجة الحرارة على حجم الزيت.

٣-٥-٨-٣ إستمرار درجة اللزوجة عند درجات حرارة التشغيل

إن أنسب درجة لزوجة هى التى تعطى أعلى كفاءة عند التشغيل. وتتأثر درجة اللزوجة بالتغير فى درجة الحرارة.

وتعمل الدوائر الهيدروليكية فى المعدات المختلفة تبعا للفرق بين درجة الحرارة المحيطة ودرجة حرارة الدوائر كالآتى :

الدوائر فى الوحدات الصناعية تكون درجة الحرارة حوالى من ١٥ ° - ٢٥ ° عن درجة الحرارة المحيطة.

الدوائر فى المعدات المتحركة تكون درجة الحرارة حوالى من ٤٠ ° - ٥٠ ° عن درجة الحرارة المحيطة.

وقد يصل الفرق إلى ١٠٠ ° مئوية ويرجع إلى أن صغر سرعة الدائرة مقارنة بالقدرة بالحصان المستهدفة من الدائرة. وفى هذه الحالات تكون الزيوت ذات لزوجة مناسبة فى درجات الحرارة المرتفعة.

٣-٥-٨-٤ التمدد

يتمدد الزيت الهيدروليكى نتيجة لإرتفاع درجة الحرارة ويتوقف ذلك أساسا على الكثافة النوعية للزيت ويبلغ هذا التمدد ٠,٠٠٠٩ من وحدة الحجم لكل إرتفاع درجة واحدة مئوية أو ٠,٠٠٠٥ لكل درجة فهرنهيت.

٣-٥-٨-٥ القابلية للتبريد

تزداد قابلية السائل الهيدروليكى كلما زاد الفرق بين درجة حرارة السائل ودرجة الحرارة المحيطة ومعامل التبريد، ويزداد لبعض الزيوت الهيدروليكية بإضافة مواد كيماوية للزيوت لتحسين هذه الخاصية.

٣-٥-٨-٦ القابلية للإضافات لتحسين خواص الزيوت الهيدروليكية

تستخدم الإضافات للزيوت الهيدروليكية لتحسين خواصها وتضاف بنسبة من ١ - ٢ % ما عدا الإضافات لتحسين اللزوجة فإنها قد تصل إلى حوالى ١٠ % وفيما يلى بيان الإضافات لتحسين الخواص الآتية :

أ- إضافات مضادات الصدأ مهمتها تخلص سطح معدن مكونات الدائرة الهيدروليكية من الماء والهواء.

ب- إضافات مضادات أكسدة الزيوت الهيدروليكية نتيجة لارتفاع درجة حرارة الزيوت أثناء التشغيل وبالتالى تزيد من عمر استعمال الزيوت.
ج- إضافات لمنع تكوين الرغاوى وبالتالى تواجد فقاقيع هواء أو بخار فى الزيت وبالتالى تمنع التكهف فى مكونات الدوائر الهيدروليكية.
د- إضافات لمنع تآكل معدن مكونات الدائرة الهيدروليكية ويجب الحذر فى هذه الإضافات وكمياتها حتى لا تهاجم معدن المكونات.

٣-٦ الأوناش Cranes

٣-٦-١ الأوناش العلوية Overhead Travelling Cranes

وتتكون أساسا من كمرة أو كمرات محمولة على طرفيها بواسطة عربة فى كل طرف وتتحرك العربتان على قضبان ويمكن بواسطة هاتان العربتان تحريك الونش طوليا فوق المساحة التى يستخدم فيها.

وفوق الكمرة أو الكمرات تتحرك عرضيا مجموعة أوناش الرفع وبواسطة الحركتين يمكن مسح كل المساحة التى يعمل فوقها الونش.

وتتراوح حمولة هذا التصنيف من ٢ طن حتى ٤٠٠ طن وتتراوح الفتحة بين القضبان الطولية بين ٢٠ قدم حتى ١٥٠ قدم. وفى حالة ما تكون حمولة الونش ١٠ طن فأكثر فإنه يكون هناك ونش مساعد على نفس الكمرات العرضية تتراوح حمولته بين ١ / ٥ إلى ١ / ٣ حمولة الونش الرئيسى ويتوقف ذلك أساسا على العمل الأساسى للونش، كما يتوقف على طبيعة عمل الونش عند السرعات التى يتحرك بها طوليا وعرضيا وكذلك سرعة الرفع والخفض.

٣-٦-٢ الأوناش ذات الذراع Jib Cranes

وتتكون من ذراع مائل بزاوية على الأفقى ويرتكز هذا الذراع من أسفل على قاعدة أفقية أو أسفل عامود رئيسى رأسى (King Post) ويمسك الذراع من طرفه الأعلى بشدادات متغيرة الطول لتغير زاوية ميل الذراع ويتم رفع الأحمال بواسطة حبال صلب مسارها من ونش على القاعدة الأفقية أو مثبت فى الجزء السفلى من العامود الرئيسى إلى بكرة أو بكرتين أعلى الذراع. ويتغير نفس قطر التشغيل (وهى المسافة من المحور الرئيسى للعامود أو من نقطة اتصال أسفل الذراع مع القاعدة الأفقية إلى الخط الرئيسى الذى يأخذه الحبل الصلب بعد دورانه على البكرة العليا) حسب زاوية ميل الذراع على الأفقى. وتحدد حمولة هذا التصنيف من الأوناش عندما يكون نصف قطر التشغيل يساوى عشرة أقدام. وتقل حمولة الأوناش كلما زاد نصف قطر التشغيل . وتتراوح حمولة هذا الصنف من الأوناش بين ١ / ٢ طن حتى ٣٠٠ طن ويتراوح نصف قطر التشغيل بين عشرة أقدام حتى ١٥٠ قدم.

ويتدرج تحت هذا التصنيف الأوناش الثابتة والمتحركة على مسار رئيسى واحد ومسار مساعد والأوناش المتحركة على قباقيب صلب كالحفارات الميكانيكية بكل أنواعها والأوناش المقصية (Sheer Legs) والأوناش المحمولة على أبراج علوية وأوناش الموانئ وأحواض بناء وإصلاح السفن. والأوناش البحرية على عائمات أو بالبواخر للشحن والتفريغ وعادة تكون سرعة الرفع والخفض وسرعة الدوران وسرعة الحركة من العوامل التى تحددها طبيعة عمل الونش.

٣-٦-٣ الأوناش القنطرية المتحركة Bridge or Gantry Cranes

وتتكون هذه الأوناش من كمرة قنطرية محمولة عند طرفيها أو بالقرب من الطرفين على قائمين رأسيين أسفلهما مجموعتان للحركة على مسار محدد.

وعلـى الكمرة القنطرية توجد مجموعة الأونـاش التـى تتحرك عرضـا بين القائمين الرأسيين، وفى حالة امتداد الكمرة القنطرية بعد القائمين يكون كابولى الامتداد من الناحيتين امتدادا للحركة العرضية لمجموعة الأونـاش. وتصل حمولة أونـاش هذا التصنيف وكابولـى امتدادها حتـى ٢٠٠ طـن أو أكثر وتستخدم هذه الأوناش فى شحن السفن والحاويات كما تستخدم فى ساحات التخزين والتوزيع.

وفـى حالـة استعمالها بالامـتداد الكابولـى لتفريغ السفن فـإن ذراع الكابولـى يكـون مفصـليا لـيمكن رفعـه وخفضه ليتفادى الأجزاء العلوية من السفن.

وعادة ما تكون سرعة تشغيل وتحريك هذه الأوناش بطيئة لكبر حمولتها وترتيب مكونات الحمولات فى وسائل النقل أو أماكن التخزين أو الشحن.

٣-٦-٤ الأونـاش الكابولى المتحركة Cantilever Cranes

وتسمى هذه الأونـاش بالأوناش البرجية وتتكون من كمرة أفقية مثبتة فى قائم رأسى وعلى الكمرة الأفقية (الكابولـى) تتحـرك مجموعة الترولـلى حيث يـرفع الحمـل ، وتثبت أونـاش الـرفع والخفض عند إتصـال الكمرة الأفقية بالقائم الرأسى. وهذه الأوناش قد تكون ثابتة أو متحركة للحمولات الصغيرة وغالبا ما تكون ثابتة للحمولات الكبيرة. وقد تثبت الكمرة الأفقية على صينية دوارة وتكون الصينية والكمرة على قاعدة رأسية إما مستطيلة أو هرمية أو مخروطية تبعا للحمولة وقد تكون القاعدة مثبتة أو متحركة. وتستعمل هذه الأونـاش للرفع إلى إرتفاعات عالية كما فى حالات الإنشاءات ومبانى العمارات والتركيبات المعدنية فـى الأبـراج المعدنية Steel Structure . بخـلاف مـا توضـح عاليه فـى التصـنيفات الأربعـة فإنـه تـوجد الأونـاش التـى تصـمم لعمليات خاصـة مثل الأونـاش الكبيرة علـى كتائن صلب لتركيب أجزاء الكبارى والحفارات الزاحفة التى تستخدم فى المناجم والأوناش التى تستخدم فى صناعات الصلب.
كذلك الأونـاش الصـغيرة التـى تتحرك علـى إطـارات كـاوتش أو المحمولة علـى جرارات والتـى يـتطلب إستخدامها سرعة حركتها وتنقلها بين مواقع العمل.

٣-٦-٥ تعريفات وقواعد عامة لتصنيف الأونـاش

Definition and General Classification of Cranes

إن قواعد وأسس تصـنيف الأونـاش تعطى إطارا تحدد من خلاله العلاقة التعاقدية بين المشترى والمصنع لتوضيح الأسس الفنية للتصنيع وتحليل ظروف التحميل والتشغيل.

أ- ظروف التحميل

حالة التحميل	معامل التحميل	التوضيح
ل$_{١}$ خفيف	٠,٥	للأوناش التى ترفع الحمل الآمن نادرا وترفع عادة الأحمال الخفيفة
ل$_{٢}$ متوسط	٠,٦٣	للأوناش التى ترفع الحمل الآمن وترفع عادة الأحمال المتوسطة دائما
ل$_{٣}$ ثقيل	٠,٨	للأوناش التى ترفع الحمل الآمن دائما وترفع الأحمال الثقيلة
ل$_{٤}$ ثقيل جدا	١,٠	للأوناش التى تحمل دائما بالحمل الآمن أو قريبا منه

ب- ظروف التشغيل

حالة التحميل	معامل التحميل	درجة الإستعمال "م"								
		م$_{١}$	م$_{٢}$	م$_{٣}$	م$_{٤}$	م$_{٥}$	م$_{٦}$	م$_{٧}$	م$_{٨}$	م$_{٩}$
	عدد الدورات	$٣,٢ \times ١٠^{٤}$	$٦,٣ \times ١٠^{٤}$	$١,٢٥ \times ١٠^{٥}$	$٢,٥ \times ١٠^{٥}$	٥×١٠^{٥}	١×١٠^{٦}	٢×١٠^{٦}	٤×١٠^{٦}	$< ٤ \times ١٠^{٦}$
ل$_{١}$ خفيف	٠,٥	أ$_{١}$	أ$_{١}$	أ$_{٢}$	أ$_{٣}$	أ$_{٤}$	أ$_{٥}$	أ$_{٦}$	أ$_{٧}$	أ$_{٨}$
ل$_{٢}$ متوسط	٠,٦٣	أ$_{١}$	أ$_{٢}$	أ$_{٣}$	أ$_{٤}$	أ$_{٥}$	أ$_{٦}$	أ$_{٧}$	أ$_{٨}$	أ$_{٨}$
ل$_{٣}$ ثقيل	٠,٨	أ$_{٢}$	أ$_{٣}$	أ$_{٤}$	أ$_{٥}$	أ$_{٦}$	أ$_{٧}$	أ$_{٨}$	أ$_{٨}$	أ$_{٨}$
ل$_{٤}$ ثقيل جدا	١,٠	أ$_{٣}$	أ$_{٤}$	أ$_{٥}$	أ$_{٦}$	أ$_{٧}$	أ$_{٨}$	أ$_{٨}$	أ$_{٨}$	أ$_{٨}$

حيث م درجة الإستعمال ، أ درجة التشغيل وتحدد درجة الإستعمال بعدد الدورات الفعالة للتحميل والتفريغ (Cycle) خلال العمر الاقتصادى للونش.

ج- نوعية التشغيل

المجموعة	صفر	١	٢	٣	٤
نوعية التشغيل	**خفيف جدا**	**خفيف**	**متوسط**	**ثقيل**	**ثقيل جدا**
أكبر عدد ساعات تشغيل فى السنة	١٠٠٠ ساعة	٢٠٠٠ ساعة	٣٠٠٠ ساعة	٤٠٠٠ ساعة	أكثر من ٤٠٠٠ ساعة

٣-٦-٦ الأحمال على الأوناش ومكونات الأحمال

يتم تصميم الونش وأجزائه لمواجهة الأحمال التى يتعرض لها وهى كالآتى :

$ح_1$ حمل السكون

$ح_2$ الحمل الحى شاملا وزن الخطاف

$ح_3$ = $ح_2$ x معامل التصادم

$ح_4$ = $ح_3$ x معامل التحميل

والجداول الآتية تبين معامل التصادم (Impact Factor) ومعامل التشغيل (Duty Factor) لمعظم أنواع الأوناش.

أ- الأوناش العلوية للأغراض الصناعية

Overhead Travelling Industrial Cranes

نوع وطبيعة الاستخدام	معامل التصادم Impact Factor	معامل التشغيل Duty Factor
محطات القوى ومأوى الماكينات	١,١٠	٠,٩٥
ورش التشغيل الخفيف (مثل ورش الصيانة والإصلاحات والتجميع)	١,١٠	١,٠٠
مخازن الخدمة الخفيفة Light Stores Duty	١,١٠	١,٠٠
مخازن الخدمة المتوسطة والثقيلة Medium and Heavy Warehouses	١,٣	٠,٩٥
ورش الخدمة المتوسطة والثقيلة Medium and Heavy Work Shop Duty	١,٣	٠,٩٥
أوناش جولياز Goliath Cranes لمقاومة الحاويات	١,٣	٠,٩٥

نوع وطبيعة الاستخدام	معامل التصادم Impact Factor	معامل التشغيل Duty Factor
أونــاش جولــياز وأونــاش قنطــرية للعمــل بالكباشــات – تشغيل متقطع	١,٤	٠,٩٠
أونــاش جولــياز وأونــاش قنطــرية للعمــل بالكباشــات – تشغيل مستمر	١,٥	٠,٨٥

ب- أوناش علوية لأشغال الصلب Overhead Travelling Steel Work Cranes

نوع وطبيعة الإستخدامات	معامل التصادم Impact Factor	معامل التشغيل Duty Factor
أوناش البودقة Ladle Cranes	١,٢	٠,٨٥
أوناش التماسيح وتكسير الخردة Pig-Scrap Breaking Cranes	١,٥	٠,٨٥
أوناش التتابع نفس الخط Process Cranes on Line	١,٥	٠,٨٥
أوناش التتابع خطين مختلفين Process Cranes off Line	١,٣	٠,٩٠
أوناش خدمة مصانع تشغيل ثقيل Heavy Mill Service	١,٤	٠,٩٠
أوناش خدمة وصيانة Service and Maintenance Cranes	١,٢	٠,٩٥

وفى هذه الحالة تحتسب $ح_٣$ = ١,٢ ($و_١$ + $و_٢$) أو ١,٥ $و_١$ + $و_٢$ أيهما أكبر

حيث $و_١$ وزن الحمولة ، $و_٢$ وزن عامود الرفع والماسك

ج- أوناش نقل Transporters

نوع وطبيعة الاستخدامات	معامل التصادم Impact Factor	معامل التشغيل Duty Factor
تشغيل متوسط (استخدام عام)	١,٣	٠,٩٥
تشغيل ثقيل (متقطع بالكباشات و المغناطيس)	١,٤	٠,٩٠
تشغيل ثقيل جدا (مستمر بالكباشات و المغناطيس)	١,٥	٠,٨٥

د- الأوناش البرجية Tower Cranes

نوع وطبيعة الإستخدامات	معامل التصادم Impact Factor	معامل التشغيل Duty Factor
تشغيل عادى فى مواقع البناء	١,٢	٠,٩٥
تشغيل متوسط - إستعمال عام فى مواقع دائمة	١,٣	٠,٩٥

هـ- أوناش متحركة ذاتية الحركة Power Driven Mobile Cranes

نوع وطبيعة الاستعمال	معامل التصادم Impact Factor	معامل التشغيل Duty Factor
استخدامات عامة	١,٢	٠,٩٥
استخدامات مكثفة شاملة عمليات تكبيش وتشغيل بالمغناطيس متقطعة	١,٣	٠,٩٠

فى حالة استخدام أوناش متحركة يتراوح حمولتها بين ٧٥ - ١٠٠ طن فى أعمال التركيبات فإن معامل التصادم (Impact Factor) يتراوح بين ١,٢ - ١,٠٥ وفى حالة حمولة أكثر من ١٠٠ طن فإنه يمكن احتساب معامل التصادم ١,٠٥ .

٣-٦-٧ الأحمال نتيجة الرياح Wind Loads

سيفترض أن الرياح تهب أفقية من جميع الاتجاهات وبسرعة ثابتة وأن لها تأثير ضغط إستاتيكى على هيكل الونش بجانب تأثير الأحمال والعوامل الأخرى.

الضغط الاستاتيكى للرياح ض = ٠,٦١٣ x س^{٢}

حيث ض الضغط بالنيوتن / المتر المربع ، س سرعة الرياح بالمتر فى الثانية

ويمكن تحويل معادلة الضغط الإستاتيكى للرياح ض = ٠,٠٠٣٧ x س^{٢}
حيث ض الضغط بالرطل / القدم المربع ، س سرعة الرياح بالميل فى الساعة

ويؤخذ أقل ضغط للرياح حوالى ٥ رطل / القدم المربع فى ظروف التشغيل والأجواء العادية وتصل إلى ٣٠ رطل / القدم المربع فى الجو العاصف والونش فى حالة سكون وعدم تشغيل.

وتقسم الرياح العاصفة إلى حالتين :
أ- الرياح العاصفة أثناء التشغيل In Service Wind
ب- الرياح العاصفة أثناء السكون وعدم التشغيل Out of Service Wind

ففى الحالة الأولى يؤخذ تأثير هذه الرياح وضغطها على أجزاء الونش بغض النظر عن ارتفاع الونش وأجزائه وكذلك يؤخذ تأثيرها على الحمل وطبيعته وشكله والجدول الآتى يبين ضغط الرياح حسب سرعتها على أنواع الأوناش وتأمينها.

مسلسل	نوع الأوناش	الضغط التصميمى على ونش فى الخدمة	السرعة التقريبية للرياح على ونش فى الخدمة
أ	أوناش سهل تأمينها ضد تأثير الرياح ومصممة للعمل فى ظروف رياح طبيعية فقط وعلى سبيل المثال الأوناش التى على قواعد منخفضة ويمكن إنزال ذراعها حتى مستوى الأرض	١٢٥	١٤ م / ث
ب	جميع الأنواع العادية من الأوناش والمركبة فى الخلاء	٢٥٠	٢٠ م / ث
ج	أوناش النقل والتفريغ والتى تعمل بصفة مستمرة فى الرياح العالية	٤٥٠	

والجدول التالى يبين تأثير ضغط الرياح على الأحمال بالونش فى حالة أن يكون فى حالة تشغيل حسب وزن الأحمال المعلقة Suspended Load (S.W.L.)

الأحمال المعلقة S.W.L	نوع الأوناش	قوة الرياح على الحمل المعلق (نيوتن)
حتى واحد طن	أ ب ج	١٢٥ ٢٥٠ ٤٥٠
من واحد طن حتى خمسة طن	أ ب ج	١٢٥ لكل طن من الحمل المعلق ٢٥٠ لكل طن من الحمل المعلق ٤٥٠ لكل طن من الحمل المعلق
من ٥ طن حتى ٢٥ طن	أ ب ج	١٢٥ لكل طن محمل أقل من ٨ طن ١٠٠٠ كحد أقصى لحمل يزيد عن ٨ طن ١٢٥ زيادة لكل طن ٢٢٥ زيادة لكل طن
أكثر من ٢٥ طن	أ ب ج	١٠٠٠ ٣٧٥٠ ٦٧٥٠

والجدول التالى يبين ضغط الرياح التصميمى لونش فى حالة سكون حسب ارتفاعات أجزاء الونش

إرتفاع أجزاء الونش عن مستوى الأرض	ضغط الرياح التصميمى نيوتن/ المتر المربع	سرعة الرياح بالنسبة للونش متر / ثانية
ارتفاع أجزاء من الونش حتى ٣٠ متر	١٣٤٠	٤٧ م / ثانية
ارتفاع أجزاء من الونش بين ٣٠ ، ٦٠ متر	١٥٣٠	٥٠ م / ثانية
ارتفاع أجزاء من الونش بين ٦٠ ، ٨٠ متر	١٦٧٠	٥٢ م / ثانية

٣-٦-٨ نوعية الصلب الذى تصنع منه الأوناش

تصنع الأوناش من الصلب المبينة مواصفاته فى المواصفات البريطانية BS4360 وهى الأنواع الآتية : صلب ٤٣ ، صلب ٥٠ ، صلب ٥٥ . والجدول التالى يبين الاجهادات المسموح بها لأنواع الصلب عند استعماله للأوناش.

الاجهادات الأساسية فى أجزاء الونش و الاجهادات بالنيوتن على الميللمتر المربع

الوصف	الاجهادات الأساسية لأنواع الصلب طبقا للمواصفات BS4360										
	صلب ٤٣ بإجهاد خضوع Y.S.				صلب ٥٠ بإجهاد خضوع Y.S.			صلب ٥٥ بإجهاد خضوع Y.S			
	٢١٥	٢٣٠	٢٤٥	٢٨٠	٣٢٥	٢٤٠	٣٥٥	٤٠٠	٤١٥	٤٣٠	٤٥٠
إجهاد شد محوري Axial Tension	١٢٩	١٣٨	١٤٧	١٦٨	١٩٥	٢٠٤	٢١٣	٢٤٠	٢٤٩	٢٥٨	٢٧٠
إجهادات ضغط محوري Axial Compression	١٢٩	١٣٨	١٤٧	١٦٨	١٩٥	٢٠٤	٢١٣	٢٤٠	٢٤٩	٢٥٨	٢٧٠
إجهاد انحناء على المساحة الفعالة من القطاعات (أ) الألواح – الخواص – المواسير – القطاعات المربعة – القطاعات المشابهة	١٤٠	١٥٠	١٦٠	١٨٢	٢١١	٢٢١	٢٣١	٢٦٠	٢٧٠	٢٨٠	٢٩٣
القطاعات المدرفلة Roller Beams المجرى – الزاوية – حرف T – الكمرات بعصب مفرد أو أكثر من عصب واحد وبحيث لا يزيد ارتفاع عصب الكمرة D عن سمكها T عن الأتي: D1/T1 لا يزيد عن ٨٥ للصلب ٤٣ D1/T1 لا يزيد عن ٧٥ للصلب ٥٠ D1/T1 لا يزيد عن ٦٥ للصلب ٥٥	١٣٣	١٤٣	١٥٢	١٧٤	٢٠٢	٢١١	٢٢٠	٢٤٨	٢٥٧	٢٦٧	٢٧٩

الوصف	الاجهادات الأساسية لأنواع الصلب طبقا للمواصفات BS4360										
	صلب ٤٣ بإجهاد خضوع Y.S.				صلب ٥٠ بإجهاد خضوع Y.S.			صلب ٥٥ بإجهاد خضوع Y.S			
	٢١٥	٢٣٠	٢٤٥	٢٨٠	٣٢٥	٢٤٠	٣٥٥	٤٠٠	٤١٥	٤٣٠	٤٥٠
(ج) الكمرات بعصب مفرد أو مضاعفات وحيث : D1/T1 لا يــزيد عــن ٨٥ للصلب ٤٣ D1/T1 لا يــزيد عــن ٧٥ للصلب ٥٠ D1/T1 لا يــزيد عــن ٦٥ للصلب ٥٥	١٢٧	١٣٦	١٤٥	١٦٥	١٩٢	٢٠١	٢٠٩	٢٣٦	٢٤٥	٢٥٤	٢٦٦
إجهاد قص Shear Stress متوسط إجهاد القص على المساحة الكلية لعصب القطاع كمرات – قطاعات مدرفلة – كمر مجرى وزوايا وحرف T	٨٠	٨٥	٩١	١٠٤	١٢٠	١٢٦	١٣١	١٤٨	١٥٤	١٥٩	١٦٧
أجزاء تحت أحمال أوجه مسطحة – أكسات ثابتة وبنوز	١٧٢	١٨٤	١٩٦	٢٢٤	٢٦٠	٢٧٢	٢٨٤	٣٢٠	٣٣٢	٣٤٤	٣٦٠
أجــزاء معرضــة للقــص و إجهــادات أخــرى الإجهــاد المكافئ Equivalent Stress	٢٠٠	٢١٤	٢٢٨	٢٦٠	٣٠٢	٣١٦	٣٣٠	٣٧٢	٣٨٦	٤٠٠	٤١٩

٣-٦-٩ الاجهادات عند الوصلات Stress in Connections

يتم عمل الوصلات إما باللحام أو بمسامير الرباط أو البرشام.

٣-٦-٩-١ الوصلات باللحام

ويشترط أن يكون اللحام بنفس قوة الصلب المصنوع منه مكونات الأجزاء الملحومة، وتستخدم طريقة اللحام المتقابل Butt weld وتكون نتيجة اختبارات عينات اللحام مطابقة لاختبارات عينات الصلب المصنعة من الوصلات من ناحية قوة الشد و الإجهادات المختلفة.

٣-٦-٩-٢ الوصلات بمسامير الرباط والجوايط

أ- مسامير الإحتكاك Friction Grip Bolts

وتعتمد هذه المسامير فى تثبيتها وأدائها على الاحتكاك بين جسم المسمار والوصلات وفى هذه الحالة يؤخذ معامل التشغيل Duty Factor بنسبة واحد صحيح بغض النظر عن تصنيف الونش.

ب- مسامير دقيقة Precision Bolts

وتكون هذه المسامير مخروطة أو مسحوبة على البارد وتكون أخرام مساوية فى القطر لأقطار المسامير أو بخلوص لا تزيد عن ٠,٤ من المليمتر. ومن هذه المسامير التى تتعرض لشد فيجب أن لا يزيد الإجهاد محسوبا عند قاع سن قلاووظ المسمار عن ٠,٤ من إجهاد الخضوع .Y.S لمعدن المسمار.

ويجب أن لا يزيد الإجهاد المسموح به لهذه المسامير عن الآتى :

- فى حالة الحمل المتغير يجب أن يكون الإجهاد المسموح به ٠,٤ من جهد الخضوع.
- فى حالة الحمل الغير متغير يجب أن يكون الإجهاد المسموح به ٠,٤٨ من جهد الخضوع.
- وفى حالة أن تكون المسامير معرضة لجهد قص Bolts in Shear يجب أن لا يكون الجهد المسموح به أكثر من ٠,٣٧ من جهد الخضوع Yield Stress .
- وفى حالة أن تكون المسامير حاملة Bolts in Bearing فإن الإجهاد المسموح به لا يزيد عن ٠,٩ من إجهاد الخضوع.

ج- مسامير عادية Black Bolts other than Friction Gimp booths

ولا تستعمل هذه المسامير فى الأجزاء الرئيسية فى الونش Main Members أو فى وصلات معرضة للإجهادات ولاستعمالها يجب أن تكون إجهاداتها كالآتى :

- إجهاد الشد ٠,٤٠ من إجهاد الخضوع.
- إجهاد القص ٠,٣٣ من إجهاد الخضوع.
- إجهاد الحمل ٠,٦٦ من إجهاد الخضوع.

٣-٦-٩-٣ الوصلات بمسامير البرشام Rivets

تكون إجهادات مسامير البرشام حيث يوجد حمل متردد أو متغير عند الوصلات طبقا للجدول

نوع البرشام	فى حالة الشد	فى حالة القص	فى حالة الحمل
برشام تحت ضغط فى المصنع	٤٠ %	٤٣,٥ %	٩٠ %
برشام تحت ضغط فى مكان تجميع الونش	٤٠ %	٤٠ %	٨٥ %
برشام تحت ضغط يدوى	٤٠ %	٦٥ %	٨٥ %

٣-٦-١٠ بيانات خاصة بالأوناش المحمولة ذات الذراع

هذه الأوناش هى الأكثر شيوعا للعمل بمصالح وزارة الرى وشركات الكراكات وهى تنقسم إلى الأنواع الآتية :

١- أوناش ذات ذراع على كتائن صلب Cowler Mounting .
٢- أوناش ذات ذراع على إطارات كاوتش ومزودة بركائز Wheel Mounting .
٣- أوناش محمولة على جرارات مزودة بركائز Truck Mounting without tiggers .

الباب الرابع
المحابس والبوابات

٤-١ المحابس
تختص هذه المواصفات بكود استعمال وخامات وأبعاد المحابس التالية :

٤-١-١ المحابس السكينة (البوابة)

٤-١-١-١ الإستخدامات
تستخدم هذه النوعية من المحابس فى فصل أو عزل أى جزء من معدة أو خط مواسير. لذلك فهو يستعمل فى بعض محطات الطلمبات على خطوط الطرد وأحيانا على خط السحب لعزل بعض الأجزاء بغرض الصيانة أو الإصلاح ، كما يستعمل فى خطوط المواسير خلف محابس الهواء. ويمتاز هذا النوع من المحابس بأن معدل الفاقد فى الرفع خلال المحبس قليل ، لذلك يوصى باستخدامه فى خطوط المواسير التى تتطلب كفاءة تشغيل عالية.

٤-١-١-٢ الخامات

١- البدن والغطاء

يمكن تصنيعهما مما يلى :
- الحديد الزهر الرمادى - الحديد الزهر المرن - الحديد الزهر ذى الجرافيت الكروى.
- واللدائن (البولى أثيلين عالى الكثافة).

٢- الطارة وصندوق الحشو

تصنع من الحديد الزهر الرمادى

٣- السكينة

تصنع من الحديد الزهر الرمادى

٤- حلقات الإحكام

تصنع مما يلى :
البرونز - المطاط المقاوم للكبريتات والكلوريدات - التيفلون

٥- جلبة الحشو وصامولة العمود والعمود

تصنع من البرونز الفسفورى أو الصلب الغير قابل للصدأ.

٤-١-١-٣ الأبعاد
تكون مقاسات وأبعاد المحابس طبقا للجداول أرقام من (٤-١) حتى (٤-٤)

جدول (٤-١) أبعاد المحبس السكينة من النوع الأول ضغط ١٠ - ١٦ جوى (النوع الطويل)

القطر الاسمى (مم)	الأبعاد (مم)				
	أ	ب	ج	د	هـ
٨٠	٢٠٣	٣٧٩	٣١٢	٢٢٣	٢٥٠
١٠٠	٢٢٩	٤١٠	٣٤٣	٢٤٢	٢٥٠
١٥٠	٢٦٧	٤٨٤	٤١٧	٣٢٤	٢٥٠
٢٠٠	٢٩٢	٥٩٦	٥٣٢	٣٩٤	٣٠٠
٢٥٠	٣٣٠	٦٧١	٦٠٧	٤٦٢	٤٠٠
٣٠٠	٣٥٦	٧٤٦	٦٨٢	٥٤٤	٤٠٠

جدول (٤-٢) أبعاد المحبس السكينة من النوع الأول ضغط ١٠ - ١٦ جوى (النوع القصير)

القطر الاسمى (مم)	الأبعاد (مم)				
	أ	ب	ج	د	هـ
٤٠	١٤٠	٣٣٠	٢٦٣	١٩٠	٢٥٠
٥٠	١٥٠	٣٣٠	٢٦٣	١٩٠	٢٥٠
٦٠	١٧٠	٣٤٩	٣١٢	٢٢٣	٢٥٠
٨٠	١٨٠	٣٧٩	٣١٢	٢٢٣	٢٥٠
١٠٠	١٩٠	٣٨٠	٣٤٣	٢٤٢	٢٥٠
١٢٥	٢٠٠	٤٥٤	٤١٧	٣٢٤	٢٥٠
١٥٠	٢١٠	٤٨٤	٤١٧	٣٢٤	٢٥٠
٢٠٠	٢٣٠	٥٦٦	٥٣٢	٣٩٤	٣٠٠
٢٥٠	٢٥٠	٦٤١	٦٠٧	٤٦٢	٤٠٠
٣٠٠	٢٧٠	٧١٦	٦٨٢	٥٤٤	٤٠٠

جدول (٤-٣) أبعاد المحبس السكينة من الطراز الثانى ضغط ١٠ - ١٦ جوى

القطر الاسمى (مم)	الأبعاد (مم)				
	أ	ب	ج	د	هـ
٥٠	١٧٨	٤١١	٣٤٧	١٩٤	٢٥٠
٨٠	٢٠٣	٤١١	٣٤٧	١٧٥	٢٥٠
١٠٠	٢٢٩	٤٣٢	٣٦٨	٢٣٤	٢٥٠
١٥٠	٢٦٧	٥١٨	٤٥٤	٢٩٤	٢٥٠
٢٠٠	٢٩٢	٦١٥	٥٥١	٣٧٥	٣٠٠
٢٥٠	٣٣٠	٧١٠	٦٥١	٤٤٤	٤٠٠
٣٠٠	٣٥٦	٧٨٩	٧٣٠	٥١٤	٤٠٠
٣٥٠	٣٨١	٩٩٤	٨٨٧	٥٩٨	٥٣٣
٤٠٠	٤٠٦	١٠٦٩	٩٦٢	٦٥٨	٥٣٣
٤٥٠	٤٣٢	١١٩٤	١٠٩١	٧٠٨	٦٨٦
٥٠٠	٤٥٧	١٢٧٢	١١٦٩	٧٧٩	٦٨٦
٦٠٠	٥٠٨	١٣٢٠	١٣٣٥	٩٠٤	٦٨٦
٧٠٠	٦١٠	١٧٣٠	١٦٦٠	١٠٦٩	٧٦٢
٨٠٠	٦٦٠	١٩١٨	١٨٤٨	١٢٠٦	٧٦٢
٩٠٠	٧١١	٢١٣٧	٢٠٧٦	١٣٢٧	٩١٤
١٠٠٠	٨١١	٢٣٣٠	٢٢٥٠	١٤٦٠	٩١٤
١١٠٠	٨١١	٢٤٢٨	٢٣٤٤	١٤٩٢	٩١٤
١٢٠٠	٨٣٨	٢٦٧٠	٢٥٨٨	١٧٠٨	٩١٤

جدول (٤-٤) أبعاد المحبس السكينة من الطراز الثالث حتى ضغط ٤٥ جوى

القطر الاسمى (مم)	الأبعاد (مم)				
	أ	ب	ج	د	هـ
٥٠	٢١٦	٤١٣	٣٤٩	١٩٤	٢٦٧
٦٥	٢٤١	٤٥١	٣٨٧	٢٢٥	٢٦٧
٨٠	٢٨٣	٤٧٠	٤١٣	٢٤١	٢٦٧
١٠٠	٣٠٥	٥٢٧	٤٦٤	٢٧٠	٣٠٥
١٢٥	٣٨١	٥٩٧	٥٣٣	٣٠٥	٣٠٥
١٥٠	٤٠٣	٦٥٤	٥٨٤	٣٣٠	٣٨١
٢٠٠	٤١٩	٧٦٨	٧٠٨	٤١٣	٤٥٧
٢٥٠	٤٥٧	٨٩١	٨٠٣	٤٧٦	٤٥٧
٣٠٠	٥٠٢	٩٥٤	٨٩٢	٥٤٠	٤٥٧
٣٥٠	٥٧٢	١٠٨٦	١٠٢٩	٦١٦	٥٣٣
٤٠٠	٦١٠	١١٦٨	١١١١	٦٦٧	٦١٠
٤٥٠	٦٦٠	١٢٧٠	١٢١٣	٧٣٧	٦٨٦
٥٠٠	٧١١	١٣٤٦	١٤٩٨	٧٩٤	٦٨٦
٦٠٠	٧٨٧	١٥٦٨	١٦٦٤	٩٢٧	٧٨٢

٤-١-١-٤ الفاقد فى الضغط خلال المحبس

يحسب الفاقد فى الرفع خلال المحبس طبقا للمعادلة التالية :

$$\Delta H = (a\xi + b)\, Q^2$$

حيث ΔH هى الفاقد فى الرفع (متر)

$H_1 - H_2 = \Delta H$ (متر)

H_1 الرفع أمام المحبس (متر)

H_2 الرفع خلف المحبس (متر)

$a = \dfrac{1}{2gA^2}$ (ثانية^2 / متر^5)

A مساحة مقطع المحبس (متر مربع)

g عجلة الجاذبية الأرضية (متر / ثانية^2)

b المقاومة التى لا تعتمد على قيمة المحبس (ثانية^{٢} / متر^{٥}) وتحدد بواسطة الشركة المنتجة وتتراوح حول (٠,٠٠١)
Q معدل سريان الماء (متر^{٣} / ثانية)
ع معامل الفاقد ويحدد طبقا للجدول رقم (٤-٥)

جدول (٤-٥) معامل الفاقد فى المحابس السكينة

نسبة غلق المحبس (المساحة المفتوحة / المساحة الكلية)	معامل الفاقد
صفر	٠,١٠٠
٠,١٠	٠,١٨٨
٠,٢٠	٠,٣٥٥
٠,٣٠	٠,٦٧٠
٠,٤٠	١,٢٧٠
٠,٥٠	٢,٥٥٠
٠,٦٠	٥,٣٥٠
٠,٧٠	١١,٥٠٠
٠,٨٠	٣١,٠٠٠
٠,٨٥	٥٨,٠٠٠
٠,٩٠	١٤٠,٠٠٠
٠,٩٢٥	٢٧٠,٠٠٠
٠,٩٥٠	٦٢٥,٠٠٠
٠,٩٧٥	٢٨٥٠,٠٠٠
٠,٩٩٧٥	٢٧٠٠٠٠٠,٠

٤-١-٢ محابس خروج الهواء Air Relief Valves

٤-١-٢-١ الإستخدامات

إن خطوط مواسير المياه لا يمكن أن تعمل بالكفاءة المطلوبة لو حدث تراكم للهواء أو الغازات داخل هذه الخطوط. وأسباب تراكم الهواء أو الغازات كثيرة نذكر منها :

١- عندما يكون الخط فارغا فإنه يمتلئ بالهواء.

٢- من خلال سحب الطلمبات خاصة عند حدوث دوامات.

٣- تجمع الهواء فى جيوب أثناء ملأ خطوط المواسير.

٤- التغير فى الضغوط ودرجات الحرارة.

كما أن تراكم الهواء والغازات فى خطوط المواسير يؤدى إلى تقلص مساحة مقطع خط المواسير وبالتالى يعوق حركة المياه ويؤدى إلى زيادة الفاقد الناتج عن الاحتكاك. كما أنه نظرا لمرونة الهواء فإنه يؤدى إلى تضاعف موجات الضغط التى تنشأ أثناء حدوث ظاهرة الطرق المائي. وتستخدم ظاهرة ميل الهواء والغازات إلى التجمع فى الأماكن العالية فى التخلص منها بتركيب محابس خروج الهواء فى هذه الأماكن. لذلك فإنه يفضل عند تصميم المواسير التوصية بتركيب محبس خروج هواء مزدوج الفتحة (Double Orifice) خلف طرد الطلمبات مباشرة. كما يجب تركيب محبس آخر مزدوج الفتحة عند كل قمة (Peak) من قمم منحنى خط المواسير والتى يتم تحديدها بالنسبة للتدرج الهيدروليكى (Hydraulic Gradient) وليس بالنسبة لمنسوبها الرأسى، ذلك لأنه فى الحياة العملية يمكن تعريف القمة على أنها الجزء من خط المواسير التى يبدأ عندها منحنى التدرج الهيدروليكى فى الانخفاض. أما المواقع التى يبدأ عندها ميل منحنى التدرج الهيدروليكى فىالإرتفاع فإنها تحتاج إلى محبس خروج هواء أحادى الفتحة (Single Orifice). وبصفة عامة فإن الحد الأدنى لعدد محابس خروج الهواء على الخط هو محبسين مزدوج الفتحة. الأول عند البداية (خلف الطلمبة مباشرة) والثانى عند نهاية الخط بالإضافة إلى محبس أحادى الفتحة كل ٨٠٠ متر على طول الخط.

٤-١-٢-٢ الخامات

١- الطربوش Cowl

يصنع من الحديد الزهر الرمادى أو من الحديد الزهر المرن.

٢- الغطاء العلوى والجسم الخارجي

تصنع من أى من الخامات التالية :

أ- الحديد الزهر الرمادي.

ب- الحديد الزهر المرن.

ج- الحديد الزهر ذى الجرافيت الكروي.

٣- حلقات المنيم Seat Ring ودليل العوامة

تصنع من البرونز

٤- العوامة

تصنع من البولى كربونات

٤-١-٢-٣ الأبعاد

١- أبعاد فتحة خروج الهواء Orifice

يتناسب قطر فتحة خروج الهواء من المحبس عكسيا مع ضغوط التشغيل كما هو موضح بالجدول رقم (٤-٦).

جدول (٤-٦) العلاقة بين قطر فتحة خروج الهواء وضغط التشغيل

قطر الفتحة (مم)	ضغط التشغيل (جوى)
١,٧٥	٢٥
٢,٢٥	١٦
٣,٠٠	١٠
٣,٥٠	٦

٢- الأبعاد والمقاسات الخارجية

طبقا للجداول رقم (٤-٧) ، (٤-٨) ، (٤-٩)

جدول (٤-٧) أبعاد محبس خروج الهواء أحادى الفتحة من الطراز الأول

قطر خط المواسير	قطر التفريعة	الأبعاد (مم)	
(مم)	(مم)	أ	ب
أصغر من ٤٠٠	٢٥	١٧٠	١٠٢
أصغر من ٤٠٠	٥٠	٢٥٦	١٦٢
٤٠٠	٨٠	٢٥٦	١٦٢
٦٠٠	٨٠	٣٢٧	٢٢٢
٩٠٠	١٠٠	٤١٠	٢٩٢
أكبر من ٩٠٠	١٥٠	٤١٠	٢٩٢

جدول (٤-٨) أبعاد محبس خروج الهواء أحادى الفتحة من الطراز الثانى

قطر خط المواسير (مم)	قطر التفريعة (مم)	الأبعاد (مم)	
		أ	ب
أصغر من ٤٠٠	٥٠	٣١٥	١٦٢
٤٠٠	٨٠	٣٤٠	١٦٢
٦٠٠	٨٠	٤١٥	٢٢٢
٩٠٠	١٠٠	٥٠٠	٢٩٢
أكبر من ٩٠٠	١٥٠	٥٠٠	٢٩٢

جدول (٤-٩) أبعاد محبس خروج الهواء مزدوج الفتحة

قطر خط المواسير (مم)	قطر التفريعة (مم)	الأبعاد (مم)			
		أ	ب	ج	د
أصغر من ٤٠٠	٥٠	٢٥٦	٢١٢	٨١	١٦٢
٤٠٠	٨٠	٢٥٦	٢١٢	٨١	١٦٢
٦٠٠	٨٠	٣٢٧	٢٣٩	١١١	٢٢٢
٩٠٠	١٠٠	٤١٠	٢٥٩	١٤٦	٢٩٢
أكبر من ٩٠٠	١٥٠	٤١٠	٢٥٩	١٤٦	٢٩٢

٤-١-٣ محابس أمان الخلخلة Anti Vacuum Valves

٤-١-٣-١ الإستخدامات

إن محابس عدم التفريغ تعتبر نوع خاص من محابس خروج الهواء ، وظيفتها الأساسية هى منع تكون الفراغ فى أنبوبة الضغط Penstock فى محطات توليد الكهرباء المائية وأيضا فى خطوط المواسير ذات الأقطار الكبيرة. إن ظاهرة الخلخلة (التفريغ) قد تؤدى إلى انهيار كامل لخطوط المواسير وهذه الظاهرة قد تنشأ فى أى من الظروف التالية :

- الغلق السريع للبوابات الأمامية لأنابيب الضغط.
- الغلق الفجائى للمحابس الموجودة على خطوط المواسير.
- التفريغ العادى لخطوط المواسير.

ويعمل محبس عدم التفريغ أوتوماتيكيا عند حدوث تغير مفاجئ فى ضغط المواسير ليسمح للهواء بالسريان عند ضغط منخفض ودخوله إلى خط المواسير ، وذلك لحماية الخط من الانهيار كما يسمح بخروج الهواء عند إعادة ملء خط المواسير.

٤-١-٣-٢ الخامات

١- البدن والغطاء الخارجى : يصنع من حديد الزهر المرن.
٢- ثقل الإتزان : يصنع من حديد الزهر المرن.
٣- حلقات الأحكام : تصنع من الصلب الغير قابل للصدأ.
٤- خابور دليل القرص : يصنع من البرونز.
٥- القرص : يصنع من الحديد الزهر المرن.

٤-١-٣-٣ الأبعاد

جدول (٤-١٠) أبعاد محابس عدم التفريغ والتى تعمل حتى ضغط ٦ جوى

قطر	الأبعاد (مم)				
(مم)	أ	ب	ج	د	هـ
٢٠٠	٣٥٠	٦١٠	٣٩١	٦٦٠	٦٢٩
٢٥٠	٤٥٠	٧٣٧	٤٣٨	٦٨٤	٦٧٩
٣٠٠	٦٠٠	٨٣٨	٥٠٢	٧٨٧	٧٤٨
٤٠٠	٧٠٠	١٠١٦	٥٦٥	٨٥٧	٨٩٢
٤٥٠	٨٠٠	١٠٩٢	٦٤٨	٩٠٥	١٠١٦
٥٢٥	٩٠٠	١٣٢١	٦٤٨	١٠٣٢	١١٠٨

٤-١-٣-٤ كميات الهواء الداخلة لخط المواسير

يمكن حساب كمية الهواء التى تدخل إلى خط المواسير لمنع التفريغ طبقا للجدول رقم (٤-١١).

جدول (٤-١١) حجم الهواء ($م^{٣}$ / ث) الداخل إلى خط المواسير خلال محابس عدم التفريغ

المحبس		الضغط السالب فى خط المواسير (متر)								
قطر فتحة الدخول (مم)	قطر التفريعة (مم)	٠,٢	٠,٤	٠,٦	٠,٨	١	٢	٣	٤	٥
٢٠٠	٣٥٠	١,٠٣	١,٤٥	١,٧٧	٢,٠٩	٢,١٢	٣,٧٠	٤,٠٤	٤,٩٣	٥,٤٠
٢٥٠	٤٥٠	١,٦٧	٢,٣٥	٢,٩٠	٣,٣٨	٣,٤١	٦,٠٠	٦,٥٥	٧,٩٥	٨,٢١
٣٠٠	٦٠٠	٢,٥١	٣,٥٠	٤,٣١	٤,٩٩	٥,١٠	٨,٩٣	٩,٧٢	١١,٨١	١٢,٩٦
٤٠٠	٧٠٠	٤,٢٥	٥,٩٢	٧,٣١	٨,٥٠	٨,٦١	١٥,٠٩	١٦,٤٥	١٩,٩٦	٢٢,١٣
٤٥٠	٨٠٠	٦,٦٦	٩,٢٧	١١,٤٠	١٣,٣٣	١٣,٤٤	٢٣,٥٨	٢٥,٦٨	١٣,٢٣	٣٤,٢٠
٥٢٥	٩٠٠	٩,٣	١٢,٩٤	١٥,٩٣	١٨,٥١	١٨,٧٨	٣٢,٩٦	٣٥,٩١	٤٣,٥٢	٤٧,٧١

٤-١-٤ محابس عدم الارتداد المتأرجح Swing Check Valve

٤-١-٤-١ الاستخدامات

تستخدم هذه المحابس لمنع انعكاس اتجاه التيار وذلك فى أنظمة المواسير الرأسية أو الأفقية ، وتحدث هذه الظاهرة عند قطع التيار الكهربى عن الطلمبات فيحدث تيار مائى فى الإتجاه العكسى يؤدى إلى عمل الطلمبة كتربينة مما يؤثر على سلامة النظام. لذلك تستخدم محابس عدم الإرتداد لمنع حدوث هذه الظاهرة. ولذلك فإن هذه المحابس تعمل فقط فى حالات الطوارئ وهذا يتطلب صيانة وفحصا دوريا للأجزاء التالية:

أ- المفصلات والأبواب يجب أن تكون نظيفة تماما من أى شوائب وذلك لضمان حرية الحركة.
ب- خابور المفصل يجب أن يفحص للتأكد من عدم حدوث تآكل به.
ج- بيارة قاع المحبس يتم تنظيفها لمنع الرواسب.
د- يجب منع التسرب خلال المفصل.
هـ- يجب فحص حلقات الإحكام بصفة دورية.

كما يمكن تزويد هذه المحابس بخوابير ارتكاز إضافية وثقل اتزان عكسى لسرعة الغلق عند انعكاس اتجاه التيار.

٤-١-٤-٢ الخامات

١- **البدن والغطاء الخارجى :** يمكن تصنيعها من أى من الخامات التالية :
الحديد الزهر الرمادى ، الحديد الزهر المرن ، الحديد الزهر ذو الجرافيت المرن.
٢- **حلقات الإحكام :** يمكن تصنيعها من أى مما يلى :
البرونز ، الحديد الصلب الغير قابل للصدأ.
٣- **خابور المفصل :** يصنع من الحديد الغير قابل للصدأ.
الجلاند :يصنع من حديد المدافع BS 1400 LG 2C .
٤- **القرص :** يصنع من الحديد الزهر المرن.

٤-١-٤-٣ الأبعاد

تكون المقاسات والأبعاد طبقا للجداول أرقام (٤-١٢) ، (٤-١٣)

جدول (٤-١٢) أبعاد محابس عدم الارتجاع المتأرجحة (الأقطار الصغيرة)

قطر المحبس	الأبعاد (مم)				
(مم)	أ	ب	ج	د	هـ
٨٠	٢٤١	١٠٥	١٦٧	٢١٥	٢٠٠
١٠٠	٢٩٢	١١٠	١٧٣	٢٤٥	٢١٠
١٢٥	٣٣٠	١٢٠	١٩٨	٢٨٥	٢٣٠
١٥٠	٣٥٦	١٥٠	٢١٩	٣٤٥	٢٦٠
٢٠٠	٤٩٥	١٧٥	٣٠٠	٤٢٠	٣٢٠
٢٥٠	٦٢٢	٢٠٥	٣٤٦	٤٩٠	٣٥٠
٣٠٠	٦٩٨	٢١٥	٣٨٤	٥٢٥	٣٧٥
٣٥٠	٧٨٧	٢٦٥	٤٣٠	٦٩٠	٤٥٨
٤٠٠	٩١٤	٢٨٠	٤٥٠	٦٩٠	٤٦٨
٤٥٠	٩٦٥	٢٨٠	٥١٥	٨٣٨	٥٥٨
٥٠٠	١٠٦٧	٣٢٠	٥٣٥	٨١٥	٥٩٨
٦٠٠	١٢١٩	٣٢٠	٦١٠	٩١٥	٦٦٨

جدول (٤-١٣) أبعاد محابس عدم الارتجاع المتأرجحة (الأقطار الكبيرة)

قطر المحبس	الأبعاد (مم)					
(مم)	أ	ب	ج	د	هـ	و
٧٠٠	١٤٠٠	٧٥٠	٥١٠	١٠٧٠	١٠٠	٨٧٨
٨٠٠	١٦٠٠	٨١٦	٥٨٣	١١٩٦	١٠٠	٩٣٨
٩٠٠	١٨٠٠	٩٧٠	٦٦٠	١٣٣٠	١٠٠	٩٩٥
١٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٢٠	٧١٥	١٤٥٢	١٠٠	١٠٥٠

٤-١-٥ محابس الفراشة Butterfly Valves

٤-١-٥-١ الاستخدامات

تستخدم محابس الفراشة مثلها مثل محابس السكينة فى فصل أو إغلاق خطوط المواسير وتعمل محابس الفراشة عند معدلات ضغط تصل إلى ١٧ جوى وعند سرعات تصل إلى ٥ متر / ثانية. كما يمكن استخدام هذه النوعية من المحابس للتحكم فى المياه فى خطوط المواسير. وإن كان استخدام هذا المحبس للتحكم فى التصرفات يتأثر كثيرا بالاختيار الأمثل لأبعاد المحبس وللفاقد فى الرفع خلال المحبس عند الفتحات المختلفة.

٤-١-٥-٢ الخامات

١- **البدن :** يمكن تصنيعه من أى من الخامات التالية :
الحديد الزهر الرمادى ، الحديد الزهر المرن ، الحديد الزهر ذو الجرافيت الكروي.
٢- **القرص :** يصنع بشكل خطوط السريان ومن الحديد الزهر المرن.
٣- **عمود الإدارة :** يصنع من الحديد الصلب الغير قابل للصدأ وينقسم إلى جزئين جزء داخلى وأخر خارجى يتصلان بواسطة صندوق الحشو.
٤- **صندوق الحشو :** يصنع من الحديد الصلب.
٥- **حلقات الإحكام :** تصنع مما يلى :
البرونز الفسفورى ، الصلب الغير قابل للصدأ ، المطاط المقاوم للكبريتات والكلوريدات.

٤-١-٥-٣ الأبعاد

أبعاد المحابس الفراشة طبقا للجداول أرقام (٤-١٤) إلى (٤-١٦)

جدول (٤-١٤) أبعاد المحابس الفراشة التى تعمل عند ضغط حتى ١٧ جوى

القطر (مم)	الأبعاد (مم)			
	أ	ب	ج	د
٧٥	٥٠	١٣٩	١٢٥	٩٥
١٠٠	٥٨	١٥٩	١٤١	١١٤
١٥٠	٧٣	١٨٥	١٧٢	١٤٠
٢٠٠	٧٦	٢١٣	١٩٣	١٧٢
٢٥٠	٨٠	٢٥١	٢٣٦	٢٠٣
٣٠٠	٨٦	٢٩٠	٢٨٥	٢٤١
٣٥٠	٩٥	٣٣١	٣٠١	٢٦٧
٤٠٠	١٠٥	٣٦١	٣٥٩	٢٩٩
٤٥٠	١١٨	٣٨٥	٣٧٦	٣١٨

القطر	الأبعاد (مم)			
(مم)	أ	ب	ج	د
٥٠٠	١٣٠	٤١٦	٤٠٥	٣٤٩
٦٠٠	١٧٨	٥٤٦	٤٨٣	٤٧٠
٧٠٠	٢٢٩	٥٩١	٥٢٧	٥٢٠
٨٠٠	٢٤١	٦٦٠	٥٩٧	٥٧٠
٩٠٠	٢٤١	٧٢٤	٦٦٠	٦٢٠
١٠٠٠	٣٠٠	٧٦٢	٧٠٥	٦٧٣
١١٠٠	٣٠٠	٨٠٧	٧٤٩	٦٩٨
١٢٠٠	٣٥٠	٩٠٨	٨٥١	٧٧٠
١٤٠٠	٣٩٠	١٠٣٥	٩٥٩	٨٧٠
١٦٠٠	٤٤٠	١١١٨	١٠٤١	٩٧٠
١٨٠٠	٤٩٠	١٢٧٦	١٢٠٧	١٠٦٧

جدول (٤-١٥) أبعاد المحابس الفراشة التى تعمل عند ضغط حتى ١٠ جوى

القطر	الأبعاد (مم)			
(مم)	أ	ب	ج	د
٧٥	٥٠	١٤٥	١٣٠	٩٥
١٠٠	٥٨	١٦٤	١٤٧	١١٤
١٥٠	٧٣	١٩٠	١٧٩	١٤٠
٢٠٠	٧٦	٢٢٠	٢١١	١٧٢
٢٥٠	٨٠	٢٥٨	٢٤٩	٢٠٣
٣٠٠	٨٦	٢٩٥	٢٩٢	٢٤١
٣٥٠	٩٥	٣٣٦	٣٢٩	٢٦٧
٤٠٠	١٠٥	٣٦٨	٣٦١	٢٩٩
٤٥٠	١١٨	٣٩١	٣٨٠	٣١٨
٥٠٠	١٣٠	٤٢٢	٤١٢	٣٤٩

القطر (مم)	الأبعاد (مم)			
	أ	ب	ج	د
٦٠٠	١٧٨	٥٥٣	٤٨٩	٤٧٠
٧٠٠	٢٢٩	٥٩٧	٥٣٢	٥٢٠
٨٠٠	٢٤١	٦٦٧	٦٢٢	٥٧٠
٩٠٠	٢٤١	٧٦٣	٧٠٥	٦٢٠
١٠٠٠	٣٠٠	٨٠٧	٧٤٣	٦٧٣
١١٠٠	٣٠٠	٨١٣	٧٦٢	٦٩٨
١٢٠٠	٣٥٠	٩٠٨	٨٥٧	٧٧٠
١٤٠٠	٣٩٠	١٠٢٢	٩٤٦	٨٧٠
١٦٠٠	٤٤٠	١٠٥٤	١٠٥٤	٩٧٠
١٨٠٠	٤٩٠	١٣٥٩	١٢٨٣	١٠٦٧

جدول (٤-١٦) أبعاد المحابس الفراشة التى تعمل عند ضغط حتى ١٦ جوى

القطر (مم)	الأبعاد (مم)			
	أ	ب	ج	د
٧٥	١٢٧	١٩٤	١٤٠	٩٢
١٠٠	١٢٧	٢٢٠	١٥٧	١١٠
١٥٠	١٢٧	٢٥٥	١٩٣	١٣٤
٢٠٠	١٥٢	٢٩٥	٢٢٩	١٧٠
٢٥٠	١٦٥	٣٤٥	٢٦٢	٢٠٣
٣٠٠	١٧٨	٣٩٥	٢٩٩	٢٣٠
٣٥٠	١٩٠	٤٢٧	٣٧٧	٢٦٠
٤٠٠	٢١٦	٤٥٩	٣٦٩	٢٩٠
٤٥٠	٢٢٢	٤٩٠	٤٠٠	٣٢٠
٥٠٠	٢٢٩	٥٢٣	٤٣٣	٣٥٨
٦٠٠	٢٦٧	٥٥٣	٤٨٩	٤٧٠

القطر (مم)	الأبعاد (مم)			
	أ	ب	ج	د
٧٠٠	٢٩٢	٥٩٧	٥٣٣	٥٢٠
٨٠٠	٣١٨	٦٦٧	٦٠٣	٥٧٠
٩٠٠	٣٣٠	٧٦٣	٧٠٥	٦٢٠
١٠٠٠	٤١٠	٨٠٧	٧٤٣	٦٧٠
١١٠٠	٤١٠	٨٤٥	٧٨٧	٦٩٨
١٢٠٠	٤٤٠	٩٤٦	٨٧٦	٧٧٠
١٤٠٠	٤٤٠	١٠٩٢	١٠١٦	٨٧٠
١٦٠٠	٤٧٠	١١٦٨	١١٤٣	٩٧٠
١٨٠٠	٦٧٠	١٤١٠	١٣٤٠	١٠٦٧

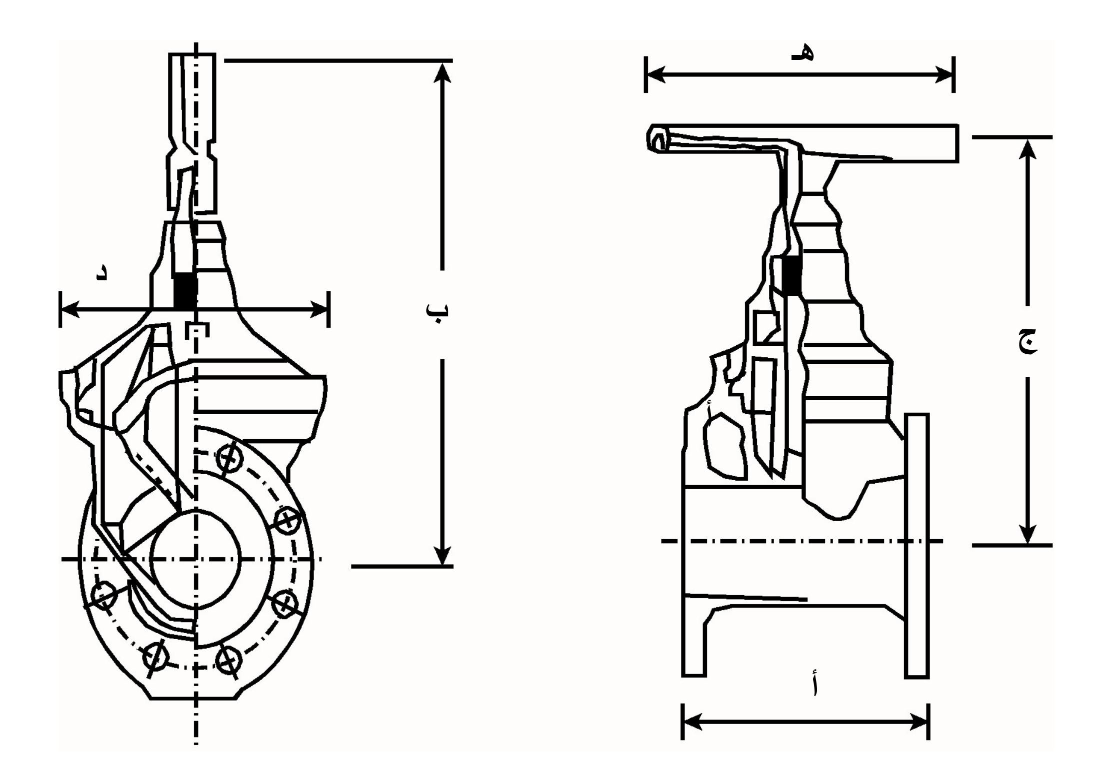
٤-٥-١-٤ الفاقد فى الرفع خلال المحابس الفراشة

يحسب الفاقد فى الرفع خلال المحابس الفراشة من خلال نفس المعادلة المذكورة لمحابس السكينة علما بأن معامل الفاقد فى الضغط يحسب طبقا للجدول (٤-١٧).

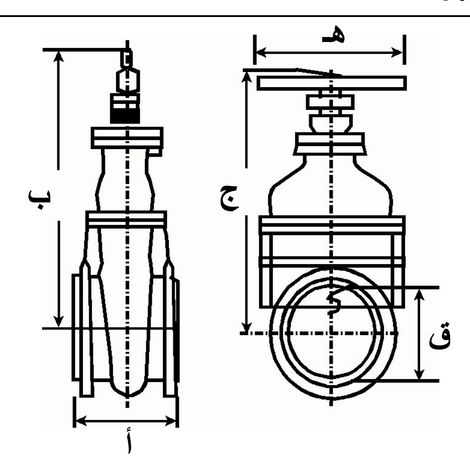
جدول (٤-١٧) معامل الفاقد فى الضغط خلال المحابس الفراشة

نسبة غلق المحبس (المساحة المفتوحة / المساحة الكلية)	معامل الفاقد
صفر	٠,١٥
٠,١٠	٠,٤٢
٠,٢٠	١,٠٠
٠,٣٠	٢,٤٠
٠,٤٠	٥,٨٠
٠,٥٠	١٣,٨٠
٠,٦٠	٣١,٠٠
٠,٧٠	٩٧,٥٠
٠,٧٥	١٩٥,٠٠
٠,٨٠	٤٤٠,٠٠

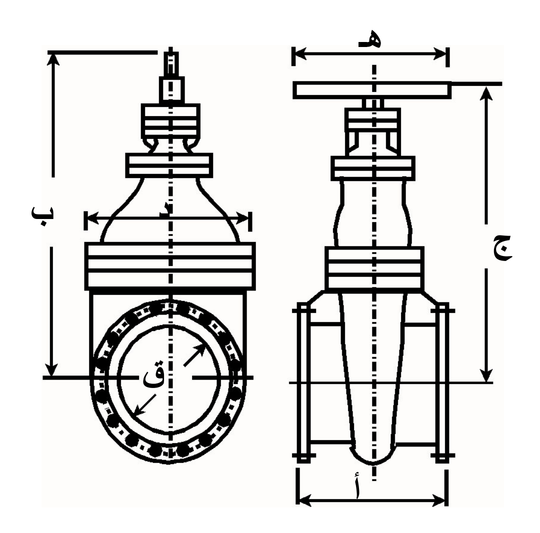
نسبة غلق المحبس (المساحة المفتوحة / المساحة الكلية)	معامل الفاقد
٠,٨٥	١١٥٠,٠٠
٠,٨٧٥	٢٤٠٠,٠٠
٠,٩٠	٦٠٠٠,٠٠
٠,٩٢٥	٢٣٠٠٠,٠٠
٠,٩٥٠	١٤٠٠٠٠,٠٠
٠,٩٧٥	١٧٠٠٠٠,٠٠
٠,٩٩٠	١٠٠٠٠٠٠,٠٠



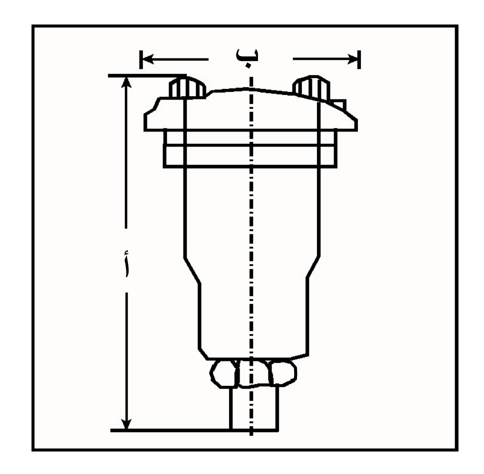
شكل (٤-١) محبس سكينة من الطراز الأول



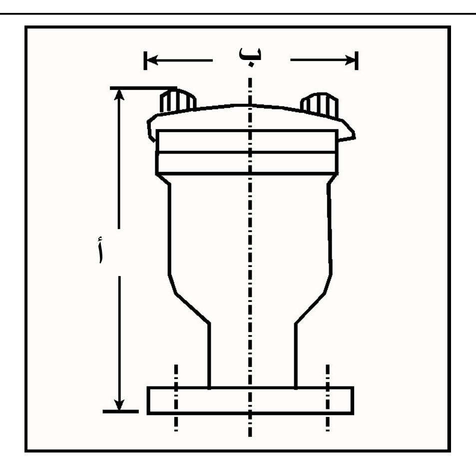
شكل (٤-٢) محبس سكينة من الطراز الثانى



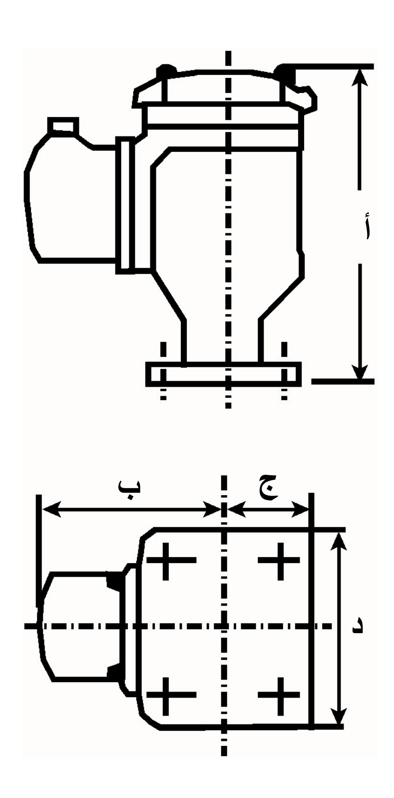
شكل (٤-٣) محبس سكينة من الطراز الثالث



شكل (٤-٤) محبس خروج الهواء أحادى الفتحة من الطراز الأول (يركب بلا كور)



شكل (٤-٥) محبس خروج الهواء أحادى الفتحة من الطراز الثانى (يركب بفلنشة)



شكل (٤-٦) محبس خروج الهواء مزدوج الفتحة

٤-٢ البوابات

يتم تركيب البوابات فى محطة الطلمبات بمأخذ مص المحطة وكذلك مجرى الطرد لإصلاح وتصحيح خط السير لمرور المياه وكذلك غلقها ناحية الطرد للطلمبات ذوات الحجم الكبير والرفع المنخفض.

٤-٢-١ أنواع البوابات المقامة على محطة الطلمبات

الأنواع الشائعة من البوابات والمستخدمة فى محطات الطلمبات والمستخدمة لإصلاح الأراضى تكون من النوع ذى الفتيل الاسطوانى أو بوابة من النوع ذى المزلاج أو من نوع خشب الغمة (الصد).

جدول رقم (٤-١٨) يبين كيفية تصنيعها أو إنشائها وتطبيقات كل نوع. وتركيب البوابات بمحطات الطلمبات ويتم اختيارها لنقل المياه بحيث يكون نوعا مناسبا لموقع التركيب ونوعية الإستخدام.

يجب تصنيع البوابة للفتح والغلق المناسب وتكون هذه البوابات متينة ومحكمة تماما ضد تسرب المياه وثابتة ضد ضغط المياه.

٤-٢-٢ شكل البوابة (Gate Configuration)

تتكون البوابة مما يلى :

٤-٢-٢-١ جسم البوابة (Gate Body)

يتكون جسم البوابة من جزئين ، الجزء الأول معرض مباشرة لضغط المياه ، والجزء الثانى ينقل حمل جسم البوابة على الجزء الثابت ويتحرك جسم البوابة لأعلى ولأسفل لفتح وغلق البوابة.

٤-٢-٢-٢ دليل البوابة (Gate Guide)

دليل البوابة يكون مدفونا فى الخرسانة ، ويتحمل الحمل الهيدروليكى على جسم البوابة ويوقف سريان المياه ، وعندما يكون الجزء العلوى من البوابة مفتوحا فى المجارى المائية (قنوات) فيجب أن يكون الجزء السفلى والأجناب للبوابة محكمة تماما ضد التسريب.

وللبوابات المستخدمة فى القنوات أو لغلق المياه ناحية الطرد للطلمبات ذوات الفتحات الكبيرة يتطلب الإحكام الجيد للجزء العلوى والجزء السفلى وكلا الجانبين للبوابة.

٤-٢-٢-٣ أجهزة الفصل والتشغيل (Opening & Closing Devices)

أجهزة الفصل والتشغيل ربما تعمل يدويا أو كهربيا أو هيدروليكيا وهذه الأجهزة ربما تكون من النوع ذى الفتيل أو الجريدة أو من النوع ذوات الاسطوانة الهيدروليكية (Hydraulic Cylinder) أو من النوع ذى الحبال ، ويجب اختيار نوع الجهاز حسب النوع والحجم وتطبيقات البوابة.

٤-٢-٣ إنشاء البوابة (Gate Construction)

يجب توريد العدد المناسب من البوابات الحاجزة (سواء كانت وحدة أو وحدتين طبقا لحالة المحطة)، وغالبا ما تكون فى محطات الطلمبات النمطية (بدون خطوط مواسير) بوابة حجز جهة المص وأخرى جهة الطرد أو بوابتين وارتفاعها يصل إلى منسوب الرصف (مص – طرد) ، ويتم عمل مجرتين لكل وحدة جهتى المص والطرد.

المسافة بين خط المحور (Center Line) لهذه المجارى بين البوابتين فى حدود (١ متر) والمسافة بين الدعامتين الخلفيتين خلال الرصيف (على الأقل ٥٠ سم) وعرضها يجب ألا يقل عن (١٥سم).

المسافة بين المجريين يجب تركها بدون بلاطة الرصيف (مص – طرد) ويجب تحديد رصيفى المص والطرد للبوابات الحاجزة كما وان البوابات الحاجزة الكاملة يمكن أن تشتمل على قطع أو أجزاء توضع بعضها فوق بعض (قطعتين أو ثلاثة أو واحدة) لكى تصل إلى رصيفى منسوبى المص والطرد.

٤-٢-٤ تصميم البوابات

يتم تصميم البوابات من ألواح صلب ملحومة ومقواه ومن مقاطع من الصلب المتفق عليه تصميميا.

١- يجب أن يكون سمك الألواح الرئيسية بحيث لا تقل عن (١٠مم) كما يجب أن تعالج هذه البوابات بطريقة متفق عليها تصميميا بحيث تكون قادرة على ضبط ومعادلة ضغط المياه بكلا الإتجاهين من البوابات قبل رفعها بأمان. وكشرط أساسى يجب صنع هذه البوابات بحيث تمنع تماماً تسرب أى مياه منها.

٢- يجب تصنيع مجارى البوابات من حديد زهر مشغل أو من مقاطع صلب وتكون محكومة تماماً بشرائح من الصلب وتكون بها دعامات مناسبة ، وكذلك بها حوائط متحركة كما توضع هذه البوابات على أعتاب من الحديد الزهر المشغل وتكون محكومة تماماً بطبقة من الخرسانة المسلحة.

٣- يجب وجود تجويف فى الدعامات أو الحوائط فى حدود (١ متر) بعيداً عن هذه المجارى والتى يوضع بها كتل خشبية من حين لآخر واستخدام شرائح الصلب على المجارى والأعتاب. ويجب استخدام المطاط الصناعى للبوابات وبكمية كافية عند إحلال بوابتى المص والطرد.

٤- لرفع - لإنزال - لتخزين - لترحيل البوابات من فتحة لأخرى ومن مجرى لأخرى على نفس الفتحة فيجب استخدام (لكل من جهتى المص والطرد) ونش رفع متحرك يعمل كهربائيا وكاملا بالهيكل المعدنى والقضبان وجهاز الرفع ، وعلى أن يكون قدرة جهاز الرفع لا تقل عن ١٢٥% من أثقل وزن للبوابة.

٤-٢-٥ بوابة ذات فتيل اسطوانى (Roller Gate)

الفتيل الاسطوانى مركب بكلا الاتجاهين من جسم البوابة على قضبان بدليل البوابة لتحريك جسم البوابة عموديا وهذا النوع له معامل احتكاك قليل. للمساعدة فى حالة استخدام البوابات الكبيرة أو البوابة ذات عمق كبير فى فتحها وغلقها بأقل قدرة ممكنة ، فإن الحمل الهيدروليكى على جسم البوابة يتم نقله إلى دليل البوابة من خلال فتائل (جمع فتيل) ، وللتأكد من عدم تسرب المياه من خلال البوابة يستخدم مطاط كاوتش ويتم تركيبه على جسم البوابة.

٤-٢-٦ بوابة ذات مزلاج (Slide Gate)

تستخدم البوابة ذات المزلاج غالبا فى البوابات الصغيرة بمساحة (١٠ م^{٢}) أو أقل ، ويتحرك جسم البوابة غالبا بانزلاق السطح المعدنى المحكم ، ودليل البوابة يكون مدفونا فى الخرسانة والمنشأة بحيث أن السطح المعرض لضغط المياه يتم سنده بحمل هيدروليكى على جسم البوابة ويحافظ على إحكامها.

٤-٢-٧ خشب الغمة (الصد) (Stop – Log)

يزود خشب الغمة بصلب متعدد الشرائح ويستخدم عادة بمحطات الطلمبات ، وارتفاع خشب الغمة يجب أن يكون فى حدود من (١ إلى ١,٥ متر) لتسهيل فكه وتركيبه ونقله وتخزينه.

ويجب إحكام الغلق لخشب الغمة فى ثلاثة اتجاهات فى القنوات المفتوحة وأربعة اتجاهات فى حالة استخدام المواسير والتى تتطلب إحكام الجزء العلوى جيدا. وعندما يتم إدخال أو رفع خشب الغمة (ذى الحجم الكبير) فإن أعلى منسوب وأقل منسوب يجب أن يتساويا لكى يتعادل ضغط المياه ، ولهذا السبب فإنه يمكن استخدام طلمبة نقالى وتكون ضرورية لنزح المياه بعد وضع وتركيب خشب الغمة. ولعمل إتزان للمياه عند رفعها ولتسهيل وضع ورفع خشب الغمة ، فيستخدم كمرة حديد بجهاز وصل وفصل.

٤-٢-٨ أجهزة الفصل والتشغيل (Opening / Closing Devices)

١- جهاز الفصل والتشغيل للبوابات ذوات الفتيل والبوابات ذات المزلاج ربما تكون من النوع الدورانى أو الجريدة أو أى شكل آخر وتطبيقات وملامح وصفات كل نوع كما بالجدول رقم (٤-١٩).

٢- عـادة يستخدم النظام الكهربائـى للبوابات فـى محطات الطلمبات وذلك لكى يمكن تشغيل البوابات بسهولة ويسر.
٣- يستخدم النظام اليدوى عندما تكون البوابة صغيرة وتفتح وتغلق كثيرا ، وأيضا عندما تكون حركة القفل والفتح قليلة.
٤- يتم استخدام النظام الهيدروليكى للبوابات ذوات الرفع العالي.
٥- نوع الفتيل والجريدة (كميكانيكية تشغيل) متاحين كنوع فردى أو كنوع زوجى ويستخدم عادة النوع الزوجى للبوابات بعرض ٢,٥ متر أو أكثر.
٦- نوع الحبال يستخدم عادة لبوابات كبيرة أو لارتفاعات عالية.

جدول (٤-١٨) أنواع البوابات المركبة على محطات الطلمبات

النوع	الإنشاء	التوصيف	التطبيقات
بوابات ذات فتيل اسطوانى	عدة فتائل اسطوانية مزودة بأجزاء مطاطية لعدم تسرب المياه ومركبة على جانبى البوابة وذلك لرفعها رأسيا	يمكن تشغيل البوابة بسهولة وبأقل قوة حتى فى المياه العميقة	- إغلاق المياه فى جهة الطرد وذلك لمحطات الصرف الكبيرة - إغلاق المياه فى مسار المياه قبل وبعد محطة الطلمبات
البوابات الزالقة	يستخدم المعدن على الأسطح الزالقة	تحتاج إلى قوة تشغيل كبيرة إلى حد ما لأن قوة الاحتكاك تكون كبيرة أثناء التشغيل	إغلاق المياه فى مسار المياه قبل وبعد محطة الطلمبات
خشب الغمة	تستخدم للبوابة ألواح من الصلب ويستخدم لها فى بعض الأنواع أجزاء مطاطية لمنع تسرب المياه وفى بعض الأنواع الأخرى يستخدم كتل خشبية فقط	- يمكن رفع أو اتزان خشب الغمة باستخدام جهاز فصل / تشغيل بعد ثبات منسوب المياه - يستخدم خشب الغمة عادة فى مسارات المياه التى لها نفس العرض	- إصلاح الطلمبات و البلوف - تنظيف مجرى المص

جدول (٤-١٩) أجهزة الفصل والتشغيل

البند / طريقة التشغيل	أجهزة الفصل والتشغيل	التطبيقات والتوصيف
يدوي	تشغيل يدوى	تستخدم فى البوابات الصغيرة والتى لا يلزم لها تشغيل عن بعد والتى لا يتم تشغيلها مرات عديدة
كهربائيا	النوع الملفوف باستخدام حبل معدنى أو باستخدام جهاز تخفيض سرعة كهربي	يستخدم فى البوابات الكبيرة ويتم غلقها بالجاذبية وباستخدام جهاز تعشيق التروس كفرملة
هيدروليكيا	تحريك مباشر باستخدام طلمبة هيدروليكية مع خزان به زيت مضغوط	- نظام تشغيل مبسط - يمكن تشغيله عند انقطاع مصدر الطاقة

الباب الخامس
الوقاية الميكانيكية والكيماوية والحماية الكاثودية

٥-١ عام

٥-١-١ مجال التطبيق (Scope)

يتناول هذا الكود تطبيقات نظم الحماية الكاثودية لحماية المنشآت المعدنية المدفونة والمغمورة ضد التآكل وكذلك لحماية السطح الخارجى للمنشأ المعدنى . كما يشمل الظروف التى فيها يكون استخدام الحماية الكاثودية إقتصاديا. يشمل الكود عدة أجزاء تغطى الأسس العامة - مجالات الاستخدام وتطبيقات نظم الحماية والمشكلات التى تظهر عند حماية منشآت معدنية - حماية المنشآت المجاورة - القياسات الكهربية ونظم الأمان. كذلك يشمل أسس التشغيل والصيانة لمنظومات الحماية الكاثودية. وتصمم منظومات الحماية الكاثودية لمنشآت الرى والصرف المختلفة مثل خطوط الطرد لمحطات الرفع والسحارات والبدالات. كذلك يتطلب ذلك التعرف على أسباب التآكل وطرق الحمايه الأخرى والتغطيه بمواد الحمايه.

٥-١-٢ تعاريف (Definitions)

تستخدم التعاريف التالية فى هذا الكود :

١- الحامضية (Acidity) وجود زيارة من أيون الأيدروجين بالنسبة لأيونات الأيدروكسيد.
٢- القلوية (Alkalinity) وجود زيادة من أيونات الأيدروكسيد بالنسبة لأيونات الأيدروجين.
٣- الأنود (Anode) القطب الذى يخرج منه التيار المستمر إلى الإلكتروليت.
٤- (Anode Shield) غطاء واق من مادة عازلة توضع على المنشآت المدهونة ملامسة للأنود مباشرة لكى تمنع تلف طبقة الدهان بالقلويات الناتجة عن ارتفاع شدة التيار على الأسطح القريبة من الأنود.
٥- (Anaerobic) نقص الأكسوجين الحر وينطبق هذا على الإلكتروليت الملاصق لسطح المنشأ المعدنى.
٦- المنطقة الأنودية (Anode Area) هى المنطقة من سطح المعدن التى تعمل كأنود.
٧- (Backfill) مادة حاملة للرطوبة ذات مقاومة منخفضة تحيط مباشرة بالأنودات المدفونة بغرض زيادة مساحة سطح التلامس بين الأنود والتربة المحيطة به.
٨- انتفاخ طبقة الدهان (Blistering of Paint) تكون انتفاخات (بثور) على سطح طبقة الدهان نتيجة الرطوبة أو الغازات أو تكون نواتج التآكل بين المعدن وطبقة الدهان مما يستوجب اتخاذ اللازم نحو أعمال الحمايه الكاثوديه.
٩- (Bond) قطعة معدنية غالبا ما تكون على هيئة شريحة مستطيلة أو سلك أو موصل مجدول من النحاس لتوصيل نقطتين على نفس المنشأ أو على منشأين متجاورين من أجل منع أى تغير ملموس فى الجهد بين النقطتين.
١٠- مقاومة الربط (Bond Resistance) (أوم) مقاومة الربط شاملة مقاومة التلامس عند نقط إتصال الأطراف.
١١- قطب مرجع كالوميل (زئبقي) (Calomel Reference Electrode) قطب مرجع يتكون من الزئبق فى محلول قياسى من كلوريد البوتاسيوم المشبع بكلوريد الزئبقوز (كالوميل).
١٢- أنود كابولى (Cantilever Anode) أنود مكون ومدعم بكابولى.
١٣- كاثود (Cathode) القطب الذى يدخل من خلاله التيار المستمر من الإلكتروليت.
١٤- المنطقة الكاثودية (Cathode Area) المنطقة من سطح المعدن التى تعمل كاثود فى الخلية الكهروكيميائية.

١٥- الحماية الكاثودية (Cathodic Protection) وسيلة لتحصين المعدن ضد الصدأ وذلك عن طريق جعل التيار المستمر يسير من محلول إلى المعدن وليس العكس (أى أن يكون كاثود فى خليه جلفانية أو الكتروليتيه).
١٦- الخلية (Cell) منظومة إلكتروليتية متكاملة تتكون كحد أدنى من كاثود وأنود وإلكتروليت متداخل. وخليه التآكل أما أن تكون خليه جلفانية أو الكتروليتيه.
١٧- موصل (Conductor) مادة (غالبا ما تكون من المعدن أو الكربون) يسير فيها التيار الكهربائى عن طريق حركة الإلكترونات.
١٨- رباط توصيل (Continuity Bond) رباط مصمم ومركب خصيصا لتأكيد التوصيل الكهربائى بالمنشأ ويكون إما رباط دائم أو مؤقت.
١٩- أنود متواصل (Continuous Anode) أنود طويل مرن قابل للثنى.
٢٠- قطب مرجع نحاس / كبريتات نحاس (Cu/CuO_4 Reference Electrode) قطب مرجع مكون من النحاس فى محلول مركز من كبريتات النحاس.
٢١- التآكل (Corrosion) تفاعل كيميائى أو كهروكيميائى بين المعدن والوسط المحيط به ينتج عنه تحلل أو تلف المعدن.
٢٢- ناتج التآكل (Corrosion Product) المركب أو المركبات الكيميائية الناتجة عن تفاعل المعدن المعرض للتآكل مع الوسط المحيط به.
٢٣- التآكل التبادلى (Corrosion Interaction) زيادة أو نقص فى معدل التآكل فى المنشآت المدفونة أو المغمورة نتيجة للتقاطع مع جزء من تيار الحماية المستخدمة لحماية منشأ أخر مدفون أو مغمور.
٢٤- تهوية تفاضلية (Differential Aeration) دخول (أو نفاذ) الهواء بمعدلات غير متساوية إلى أجزاء مختلفة من سطح المعدن ينتج عنه فى الغالب تآكل عند المناطق التى ينفد إليها الهواء بصعوبة.
٢٥- الصرف (الصرف الكهربائي) (Electric Drainage) وسيلة يتم بواسطتها حماية المنشآت المدفونة تحت الأرض أو المغمورة فى الماء ضد التآكل الكهروكيميائى وذلك عن طريق وجود اتصال كهربائى بين المنشأ والطرف السالب الراجع إلى الموحد الكهربائى.
٢٦- رباط الصرف (Drainage Bond) رباط من معدن موصل لتوصيل (أو ربط) المنشأ بالطرف السالب الراجع إلى الموحد الكهربائى لكى يتم الصرف (Drainage) .
٢٧- إختبارات الصرف (Drainage Tests) اختبارات تتم بدفع تيار لفترة قصيرة باستخدام أنودات مؤقتة ومصدر للطاقة وذلك لتحديد قيمة التيار اللازم للوصول إلى حماية كاملة ضد التآكل الكهروكيميائى.
٢٨- القوة الدافعة الكهربائية - منظومات الأنودات الجلفانية (Driving e.m.f, Galvanic Anode Systems) هى الفرق بين جهد المنشأ / الإلكتروليت وجهد الأنود / الإلكتروليت.
٢٩- الأرض (Earth) :
أ- الكتلة الموصلة من الأرض أو من أى موصل.
ب- إتصال سواء عن قصد أو عن غير قصد بين موصل وبين الأرض.
٣٠- قطب (Electrode) موصل معدنى (شاملا الكربون) يمر بواسطته التيار من وإلى الإلكتروليت.
٣١- الإلكتروليت (Electrolyte) سائل أو سائل فى مادة مركبة مثل التربة (الرطوبه المحتويه على أملاح مذابه) يمر به التيار عن طريق حركة الأيونات.
٣٢- سالب كهربائيا (Electronegative) صفة تطلق على إلكترود معدنى لتبين أن جهده سالب قياسا إلى إلكترود آخر فى المنظومة.
٣٣- (Electrosmosis) مرور سائل خلال وسط مسامى تحت تأثير اختلاف الجهد.

٣٤- موجب كهربائيا (Electropositive) صفة تطلق على إلكترود معدنى لتبين أن جهده موجب قياسا إلى إلكترود معدنى آخر بالمنظومة.
٣٥- صرف جبرى (Forced Drainage) صورة من صور الصرف يكون فيه التوصيل بين المنشأ المحمى ومجموعة الجر الكهربائى (Traction System) مشتملا على مصدر مستقل للتيار الكهربائى المستمر (Rectifier Unit).
٣٦- التأثير الجلفانى (Galvanic Action) تفاعل ذاتى (بدون إستخدام تيار خارجى) فى خلية إلكتروليتية يتآكل فيها الأنود المعدنى.
٣٧- أنود جلفانى (Galvanic Anode) إلكترود يستعمل لحماية منشأ بالتأثير الجلفانى.
٣٨- مهد الأنودات (Groundbed) منظومة من الإلكترودات المدفونة أو المغمورة متصلة بالطرف الموجب لمصدر تيار مستمر مستقل وذلك لتوصيل التيار المستخدم إلى الأرض لحماية المنشآت المدفونة أو المغمورة.
٣٩- عيوب بطبقة الدهان (Holidays) عيوب غالبا ما تكون على هيئة رأس الدبوس بطبقة الدهان.
٤٠- التيار المدفوع (Impressed Current) التيار الناتج من موحد أو من مصدر تيار كهربائى مستمر (وبالتحديد استبعاد الأنودات الجلفانية) إلى منشأ محمى وذلك بغرض الوصول إلى جهد الحماية المطلوب.
٤١- فلانشات معزولة (Insulated Flange) وصلة فلانشة بين جزئين طوليين متجاورين من المواسير تكون فيها الصواميل والمسامير معزولة كهربائيا عن إحدى أو عن كلا الفلنشتين وتكون جوانات التوصيل غير موصلة حتى لا يوجد أى إتصال كهربائى عند تلك النقطة.
٤٢- اختبار التبادل (Interaction Test) اختبار يجرى لتحديد مدى شدة التآكل التبادلى بين منشأين مدفونين أو مغمورين.
٤٣- الأيون Ion ذرة أو مجموعة ذرية تحمل شحنة كهربائية موجبة أو سالبة.
٤٤- وصلة عازلة Isolating Joint وصلة تركيب بين طولين من الماسورة لكى تحدث فصل (عزل) كهربائى بينهما.
٤٥- نظام الحماية الكاثودية المشترك Joint Cathodic Protection Scheme نظام تكون فيه المنشآت المختلفة وخاصة المنشآت المملوكة لآخرين موصولة معا ومحمية بمنظومة حماية كاثودية مشتركة.
٤٦- متعادل Neutral يحتوى على تركيز متساوى من أيونات الأيدروجين وأيونات الأيدروكسيد.
٤٧- السلبية Passivity تحول سطح المعدن أو السبيكة إلى الحالة الخاملة (نتيجه تراكم نواتج التآكل عند الكاثود) حيث ينخفض نشاطه الكهروكيميائى ويقل معدل التآكل وتتحقق الحمايه وينتج هذا غالبا لتكون طبقة واقية على سطح المعدن.
٤٨- الأس الهيدروجينى PH أس أيدروجينى يستخدم للتعبير عن التركيز النسبى لأيونات الأيدروجين وأيونات الأيدروكسيد فى المحلول وهو يساوى ($-Log\ H^+$).
٤٩- النقور Pitting تآكل بالمعدن غير منتظم حيث تتكون عدد من النقور أو الحفر على السطح ليست على هيئة شروخ. وهو تراكم غاز الهيدروجين عند الكاثود بما يعمل على توقف عمل دائرة التآكل الكهروكيمائيه ويسمى استقطاب كاثودى أو يتراكم نواتج التآكل عند الأنود ويسمى إستقطاب آنودى.
٥٠- الإستقطاب Polarization التغير فى جهد الإلكترود نتيجة مرور تيار كهربائى.
٥١- منشأ إبتدائى Primary Structure منشأ مدفون أو مغمور محمى كاثوديا بمنظومة ، وهذه المنظومة قد تسبب تآكل تبادلى لمنشأ أخر (ثانوي).
٥٢- منشأ محمى Protected Structure المنشأ الخاضع لنظام الحماية الكاثودية.
٥٣- تيار الحماية Protection Current التيار الذى يمر خلال المنشأ المعدنى من الإلكتروليت المحيط به ويحدث الحماية الكاثودية لهذا المنشأ.

٥٤- جهد الحماية Protection Potential أقصى قيمة سالبة يخفض إليه جهد المنشأ المعدنى بالنسبة لقطب مرجع معين فى الوسط المحيط لإحداث الحماية الكاثودية لهذا المنشأ.

٥٥- التفاعل (الأنودى - الكاثودى) Anodic-cathodic reaction عملية تغير كيميائى أو كهروكيميائى يحدث خاصة عند أو بالقرب من الإلكترودات بالخلية.

٥٦- الأنود النشط Reaction Anode إصطلاح مرادف للأنود الجلفانى Galvanic Anode .

٥٧- جهد الأكسده أو الأختزال Redox Potential الجهد الناتج على إلكترود بلاتين فى وسط مائى فى غياب التيار.

٥٨- قطب مرجع Reference Electrode قطب ذو جهد ثابت لا يتغير بمرور التيار ويستخدم كمرجع لقياس جهد الإلكترودات الأخرى.

٥٩- الربط العلاجى Remedial Bond ربط بين منشأ ابتدائى ومنشأ ثانوى بهدف إزالة أو خفض التآكل التبادلى.

٦٠- ربط بالمقاومات Resistance Bond ربط يتم إما بإدخال مقاومات بالدائرة أو يكون له مقاومة كافية فى ذاته بهدف تحديد التيار المار.

٦١- أنود اعتبارى Sacrificial Anode إصطلاح مرادف للأنود الجلفانى وهو الأنود الضحيه أو الأنود الذى يتآكل.

٦٢- منشأ ثانوى Secondary Structure منشأ مدفون أو مغمور يتعرض للتآكل التبادلى الناتج من تيار الحماية الكاثودية لمنشأ آخر (ابتدائي).

٦٣- إلكترود حساس Sensing Electrode قطب مرجع مثبت بصفة دائمة يستخدم لقياس جهد المنشأ / إلكتروليت.

٦٤- إلكترود فضة / كلوريد فضة Silver / Silver Chloride قطب مرجع مكون من فضة مغطى بكلوريد الفضة فى محلول يحتوى على أيونات الكلور.

٦٥- إلكترود أيدروجين Standard Hydrogen Electrode قطب مرجع مكون من معدن موجب كهربائيا مثل البلاتين فى محلول يحتوى على أيونات الأيدروجين أحادية النشاط ومشبع بغاز الأيدروجين تحت ضغط واحد جو قياسى.

٦٦- تيار شارد Stray Current التيار المار فى التربة أو فى وسط مائى وينشأ فى الغالب عن مصدر كهربائى. وهذا التيار الشارد يمكن أن يمر من الوسط إلى المنشأ أو العكس.

٦٧- جهد المنشأ / الإلكتروليت Structure / Electrolyte Potential هو الفرق فى الجهد بين منشأ وقطب مرجع معين متصل بالإلكتروليت عند نقطة ملاصقة بدرجة كبيرة للمنشأ ولكن دون تلامس حقيقى معه لتلافى أى خطأ نتيجة الانخفاض فى الجهد والناتج عن التيار المار فى الإلكتروليت.

٦٨- البكتريا الخافضة المختزله للكبريتات Sulfate Reducing Bacteria مجموعة من البكتريا متواجدة فى معظم الأراضى (Soils) والمياه المتعادلة وتكون نشطة فى حالة التعادل فقط وفى جو خال من الأكسجين حيث تستهلك الكبريتات وتخفضها وينتج عن ذلك مركبات الكبريتيد.

٦٩- المنشأ الغير محمى Unprotected Structure منشأ غير متصل بمنظومة حماية كاثودية.

٧٠- خلية إستقطاب Polarization Cell وسيلة مثبتة بإتصال قميص أو تسليح الكابل الكهربائى بالأرض وهذه الوسيلة تقوم بصرف تيار صغير فقط من المصدر المستخدم لتوفير الحماية الكاثودية للكابلات ولكنها تقوم بنقل كل التيار الخطأ بالكابل إلى الأرض.

٧١- الصرف الإستقطابى (الصرف الكهربائى المستقطب) Polarized Drainage نوع من الصرف يكون الاتصال بين المنشأ المحمى ومجموعة الجر الكهربائى تشتمل على وسيلة أو وسائل أحادية الإتجاه مثل الموحدات.

٧٢- التصبن Saponification العملية الكيميائية لتكون الصابون وبصورة خاصة تحلل طبقة الدهان عن طريق إزالـة العسر (Softening) الناتج عن تأثير المحاليل القلوية على الدهون ومكونات طبقة البوية.

٧٣- وصلة أمان Safety Bond وصلة لتوصيل الهيكل المعدنى من جهاز كهربائى بالأرض لكى تمنع (تحد من) الإرتفاع فى جهد الهيكل عن جهد الأرض نتيجة مرور تيار خطأ أو تيار متسرب زائد وتحد من خطر الصدمات الكهربائية إلى أى شخص يلامس هيكل الجهاز.

٥-١-٣ تبادل المعلومات Exchange of Information

إن إستخدام الحماية الكاثودية لحماية الأجزاء المدفونة أو المغمورة ينتج عنها مرور تيار مستمر خلال التربة أو الماء وقد يتسبب هذا فى الإسراع من تآكل المنشأت الأخرى المدفونة أو المغمورة ولذلك يلزم إخطار مالكى أى منشأ آخر يقع بالقرب من المنشأ المحمى أو بالقرب من وحدة الحماية. كما أن مرور التيار قد يتسبب فى حدوث تداخل كهربائى مع دوائر الشبكات التليفونية.
فى الأماكن المتواجد بها سوائل قابلة للإشتعال أو غازات قد تسبب معدات الحماية (أخطار معينة). وفى جميع الحالات يجب أن يتم التنسيق والتعاون وتبادل المعلومات مع الآخرين مالكى المنشآت المجاورة.

٥-٢ أسس الكيمياء الكهربائية

هذا الجزء يتناول تقديم معلومات عن مفاهيم وأسس الكيمياء الكهربائية والتآكل والحماية الكاثودية للمساعدة على فهم هذا الكود.

٥-٢-١ سلوك المعادن المدفونة أو المغمورة فى غياب الحماية الكاثودية

٥-٢-١-١ تآكل المعادن

يحدث التآكل وكذلك يزداد نشاطه فى وجود الأكسجين المذاب فى الماء أو أى مواد مؤكسده أخرى عندما يتآكل معدن ما فى محلول فإن الذرة المتعادلة تذهب إلى المحلول فى صورة أيون يحمل شحنة موجبة وتبقى الإلكترونات السالبة فى المعدن.
على سبيل المثال عند تآكل الحديد :

$$Fe \text{-------->} Fe^{++} + 2e^- \qquad (5\text{-}1)$$

وبالتالى ينتج عن التآكل مرور تيار كهربائى من المعدن إلى الإلكتروليت نتيجة حركة الأيونات الموجبة إلى الإلكتروليت والإلكترونات حاملة الشحنة السالبة إلى المعدن أو أى منطقة يمر بها التيار فى هذا الإتجاه تسمى منطقة أنودية. الأيونات الموجبة الناتجة ربما تتفاعل مع أيونات أخرى سالبة فى المحلول وينتج عن هذا التفاعل مركبات غير قابلة للذوبان (مثل الصدأ فى حالة تآكل الحديد).

تكتمل الدائرة الكهربائية بمرور التيار من المحلول إلى المعدن عند مناطق أخرى - تسمى بالمناطق الكاثودية - ويحدث عند الكاثود عدة تفاعلات (مثل إختزال الأيدروجين - أو الأكسجين).

$$H^+ + e^- \text{-------->} H_2 \qquad (5\text{-}2)$$

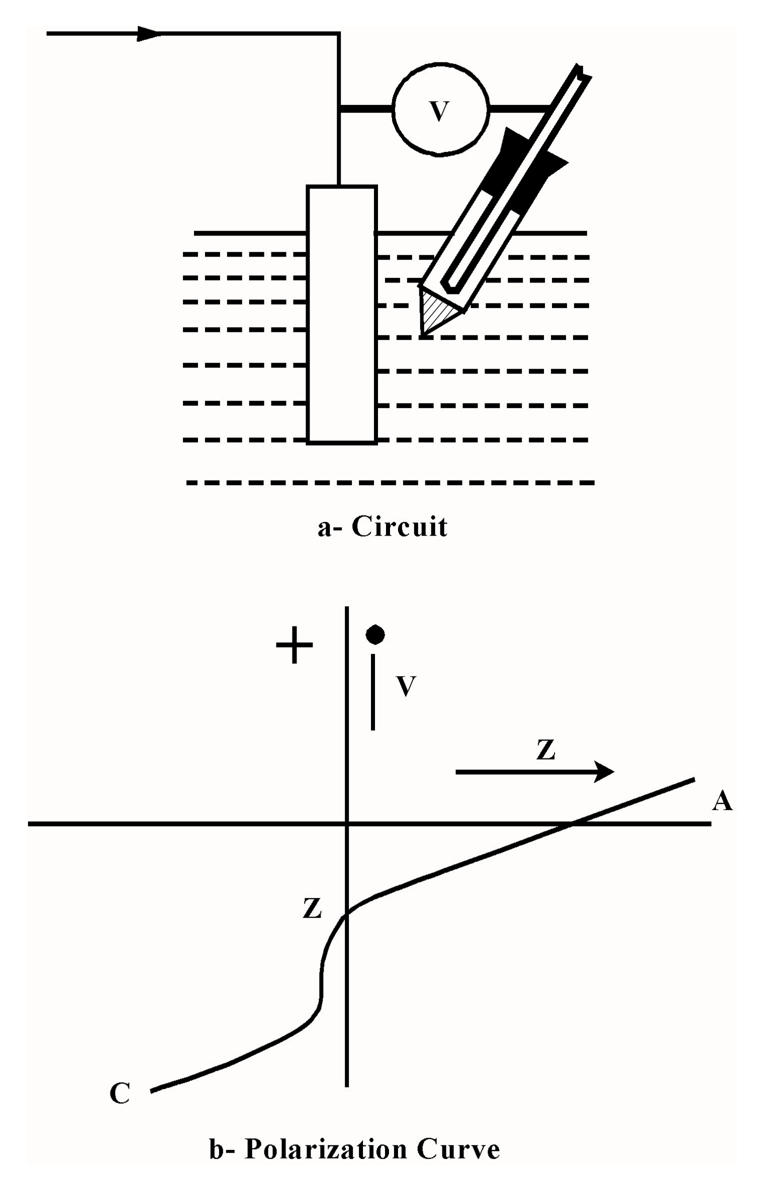
$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \text{-------->} 4(OH)^-$$

ولا يحدث فى الغالب أى تآكل نتيجة لهذه التفاعلات ، ولأن مع كل ذرة تذوب فى المحلول يتحرر نفس العدد من الإلكترونات فإن التيار الناتج يتناسب مع معدل التآكل. فعلى سبيل المثال فى حالة تآكل الحديد

يتحرر عدد أثنين إلكترون من كل ذرة تذهب إلى المحلول - كما هو موضح بالمعادلة رقم (٥-١) وينتج تيار تآكل قيمته ١ أمبير بذوبان ٩ كجم فى السنة.

٥-٢-١-٢ الإستقطاب Polarization

يتغير فرق الجهد بين أى معدن والإلكتروليت المحيط به بتغير شدة التيار المار بسطح التلامس ويعبر عن هذا التغير بالإستقطاب ويتوقف حدوث الإستقطاب بوجود الأكسجين المذاب فى الماء والذى يتفاعل مع أيون الهيدروجين ويستمر التآكل - يتم قياس العلاقة بين الجهد وشدة التيار باستخدام الدائرة المبينة بالشكل رقم (٥-١) وليس بالضرورة أن تكون هذه العلاقة خطية. والجزء Z-A من المنحنى يقابل التآكل. وكلما زاد الجهد فى الاتجاه الموجب كلما زاد معدل التآكل. أما تغير الجهد فى الاتجاه السالب يقلل من معدل التآكل وربما يمنع حدوث التآكل كليا.



شكل (٥-١) قياس الإستقطاب

٥-٢-١-٣ تكون الخلايا Formation of Cells

افترض قياس الجهد بين معدنين مختلفين ومحلول ما أحدهما المعدن A الأنود (الذى يتآكل) والمعدن C الكاثود الذى لايتآكل مستخدما التجهيزة الموضحة بالشكل (٥-٢) والمفتاح S فى وضع الفتح والمعدن A أكثر سالبيه. عند قفل المفتاح يمر التيار فى إتجاه السهم وذلك لفرق فى الجهد لايقل عن ٥٠ مللى فولت.

يتم ترتيب المعادن والمواد الموصلة كما هو مبين بعد فى سلسلة ، وفى هذه السلسلة يعتبر كل معدن أنود بالنسبة لجميع المعادن أو المواد الموصلة الواقعة أسفله.

- ماغنسيوم (الأكثر سالبيه)
- زنك (الخارصين)
- ألومنيوم
- الحديد والصلب
- الرصاص
- النحاس الأصفر
- نحاس
- جرافيت الكوك

وعلى ذلك فإن توصيل الماغنسيوم بالحديد يحدث عنه تكون خلية يكون فيها الماغنسيوم هو الأنود والحديد هو الكاثود.

وتتكون أيضا خلايا نتيجة الاختلاف فى خواص الإلكتروليت الملامس للأجزاء المختلفة لنفس السطح. على سبيل المثال فإن زيادة تركيز الأكسجين يجعل جهد المعدن أكثر موجبا وبالتالى فإن التغير فى كثافة ومسامية التربة يعتبر من الأسباب الشائعة فى تكون خلايا التآكل. والشكل رقم (٥-٣) يبين تكون تلك الخلايا. وقد يتغير حجم الخلايا بدرجة كبيرة. فى الشكل (٥-٣- c) على سبيل المثال المساحات الأنودية صغيرة والقصور الناتجة من التآكل تؤدى إلى حدوث تلف. ولتبسيط الصورة نعتبر المساحات الأنودية والكاثودية منفصلة عن بعضها كما هو موضح بالشكل (٥-٣- c) الأنود هو الإلكترود الذى يعطى جهد أكثر سلبية بالنسبة للمحلول عندما تفتح على الرغم من أن فرق الجهد يصبح أقل. ينطبق هذا فى حالة وجود أنود وكاثود على نفس سطح المعدن الملامس لظروف مختلفة كما فى شكل (٥-٣- a). عندما تكون المقاومة الكلية فى الدائرة صغيرة يكون فرق الجهد للمعدن / الإلكتروليت صغيرا عند المساحات الأنودية والكاثودية ويحدث التآكل عند المنطقة الأولى. ويكون الجهد عند المناطق الأنودية أكثر إيجابا عما إذا مر التيار فى الخلية.

٥-٢-١-٤ السلبية (المناعه) Passivity

لو أدت نواتج التآكل إلى تكون طبقة متماسكة غير مسامية على سطح المعدن فإن التآكل يتوقف. على أن مقاومة الصلب الغير قابل للصدأ ينتج عنه تكون طبقة واقية من أكسيد الكروم على سطح المعدن.

٥-٢-١-٥ التفاعلات على المناطق الكاثودية Reactions at Cathodic Areas

أهم التفاعلات التى تحدث على سطح الكاثود هى :

$2H^{+}\ 2e^{-}$ --------> H_2 (5-3)

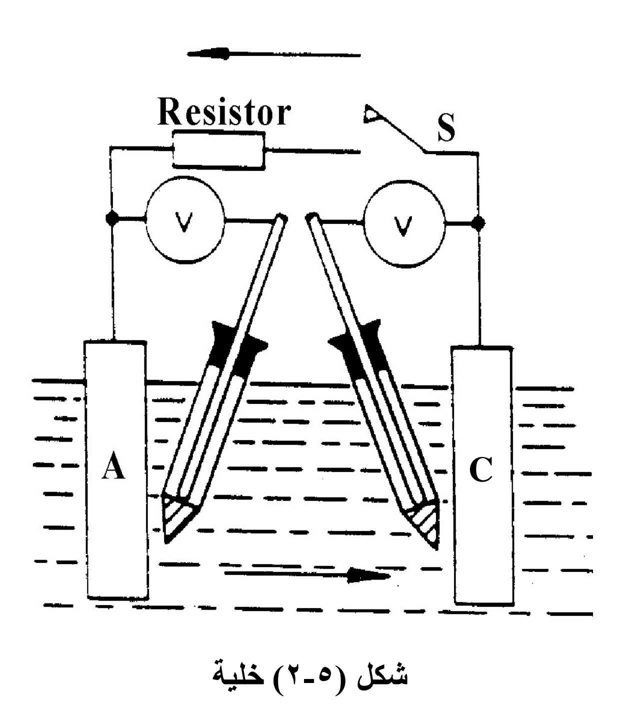
Hydrogen ion + electron --------> Hydrogen gas

$\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^{-}$ --------> 2OH

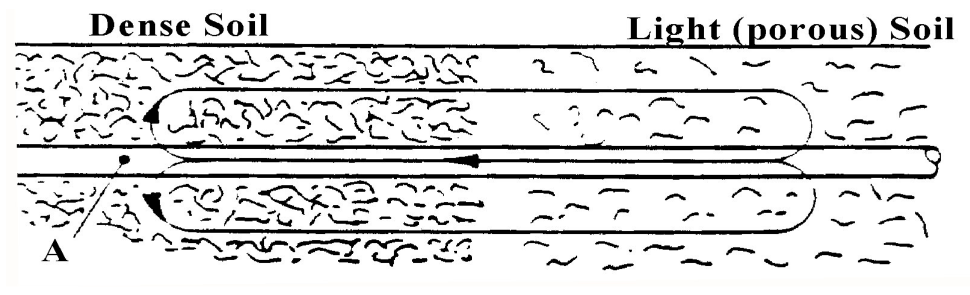
Oxygen + water + electrons --------> Hydroxyl ions

يحدث التفاعل الأول فى المحاليل الحامضية (زيادة فى أيون الأيدروجين) بينما يحدث التفاعل الثانى فى المحاليل المتعادلة أو القلوية. وفى وجود أكسجين ذائب فإن كلا التفاعلين يجعل المحلول المجاور للكاثود قلوى (زيادة فى أيونات الأيدروكسيد بالنسبة لأيونات الأيدروجين). وعلى العكس من التفاعلات الأنودية فإن التفاعلات الكاثودية لا تشتمل على مرور المعدن إلى المحلول ، وبالتالى لا يحدث فى الغالب أى تآكل عند المناطق الكاثودية. معدل التآكل يحدد عمليا بمعدل حدوث التفاعل الكاثودى. على سبيل المثال إذا كان التفاعل الموضح فى المعادلة (٥-٣) هو التفاعل الكاثودى فإن نقص الأكسجين يعتبر العامل المحدد لسرعة التفاعل.

وكما سبق ذكره فعلى الرغم من أن التفاعلات التى تحدث على سطح الكاثود لا ينتج عنها تآكل بصورة مباشرة ، فإن تغير الوسط المحيط بالمعدن حيث يصبح أكثر قلوية وبالتالى يصير أكالا بالنسبة لبعض المعادن مثل الألومنيوم وأحيانا الرصاص. كما تتسبب القلوية فى تلف طبقة الدهان والطلاءات الأخرى عن طريق التصبن.



شكل (٥-٢) خلية



a.

Fig (5-3) Cells due to differential aeration

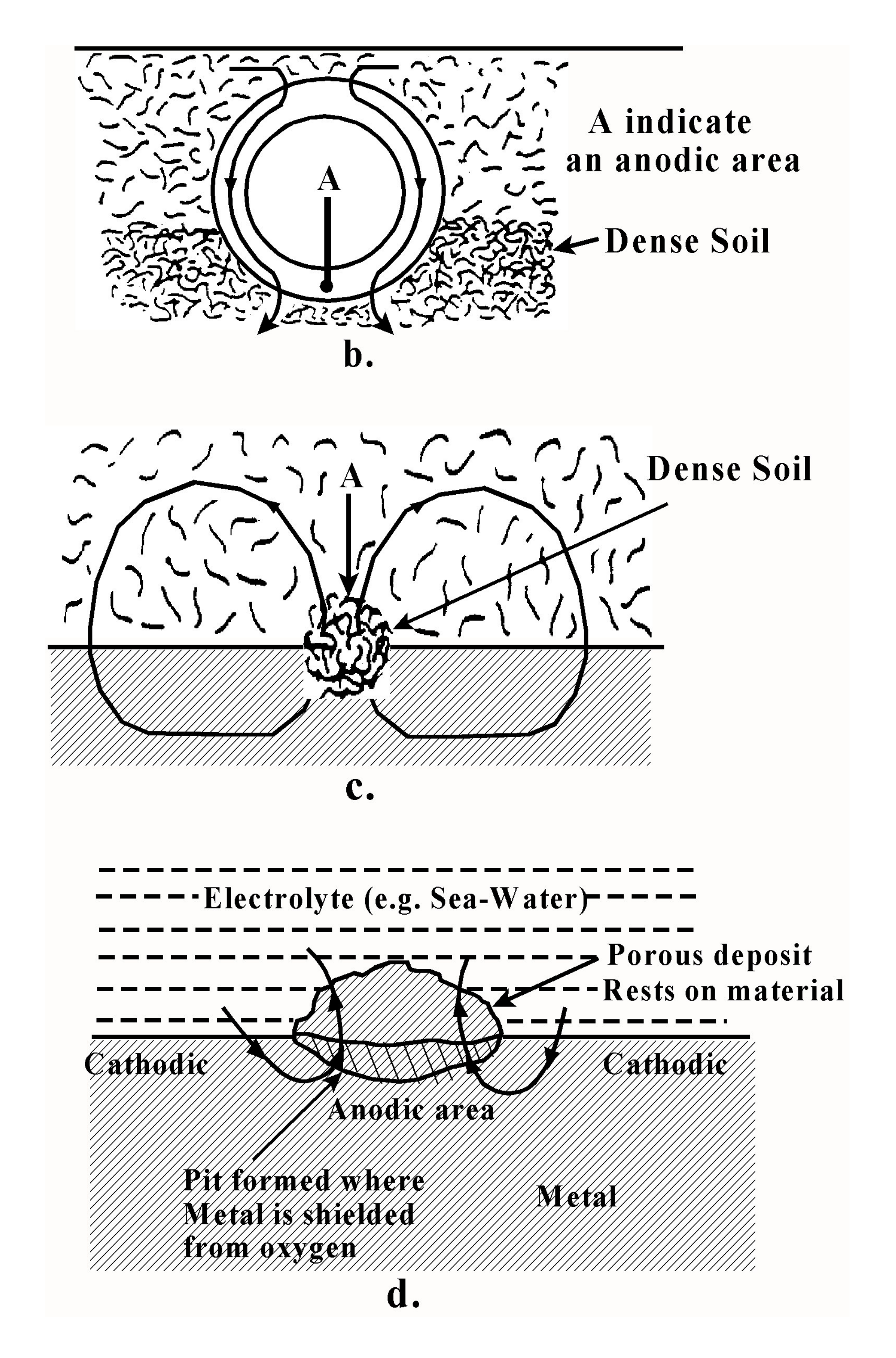
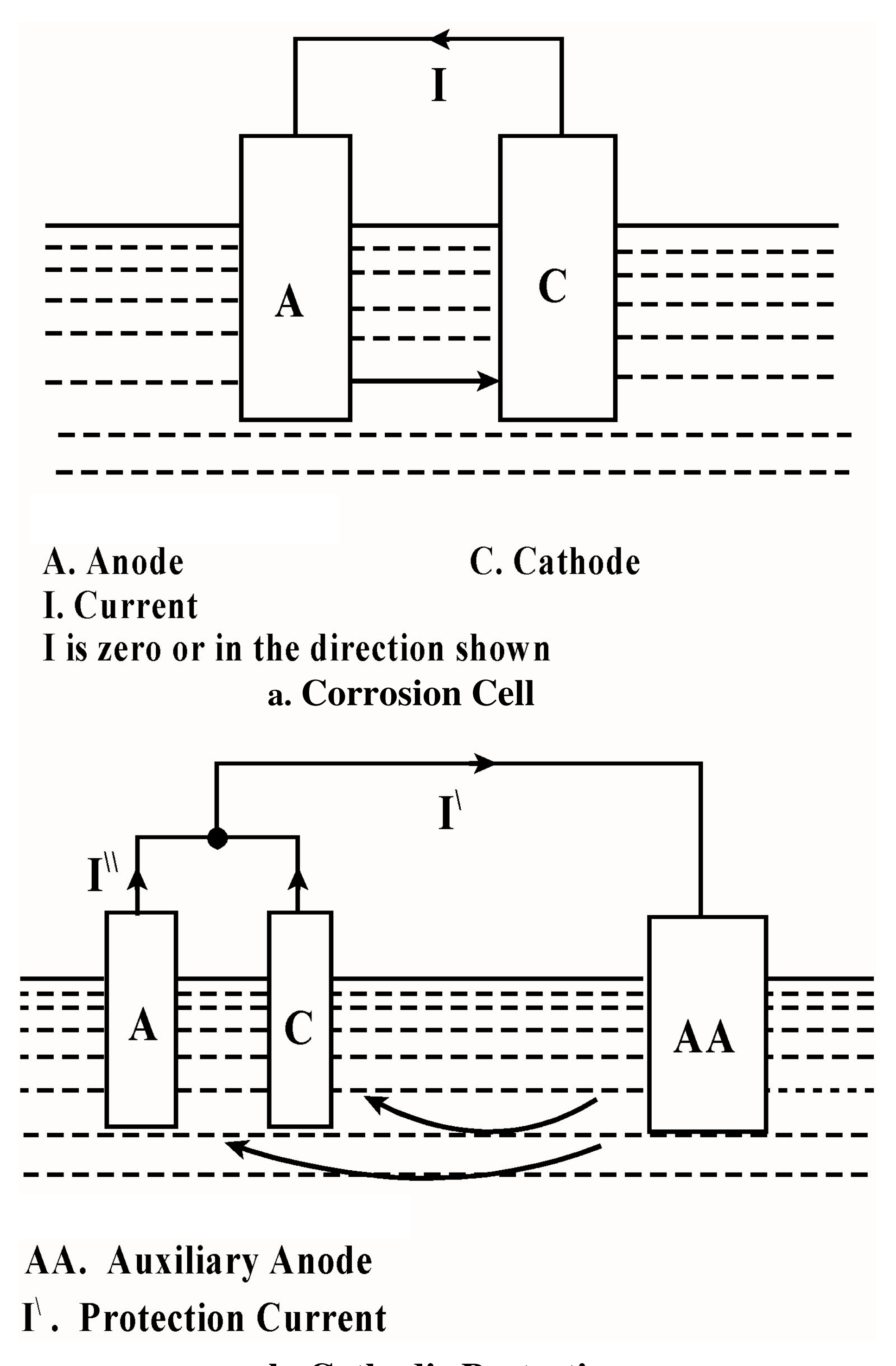


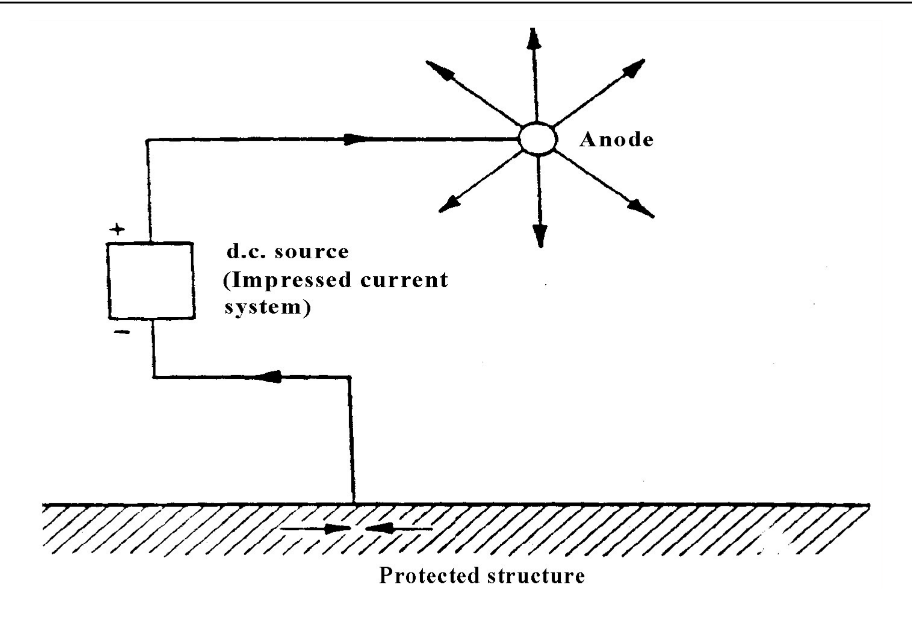
Fig. (5-3) Cells due to differential aeration



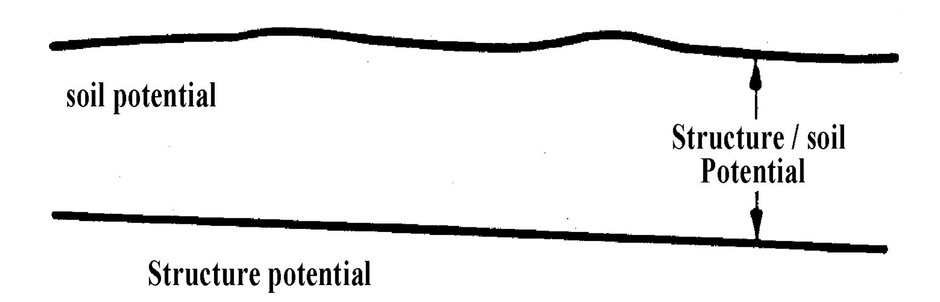
a. Corrosion Cell

b. Cathodic Protection

Fig. (5-4) The basis of cathodic protection

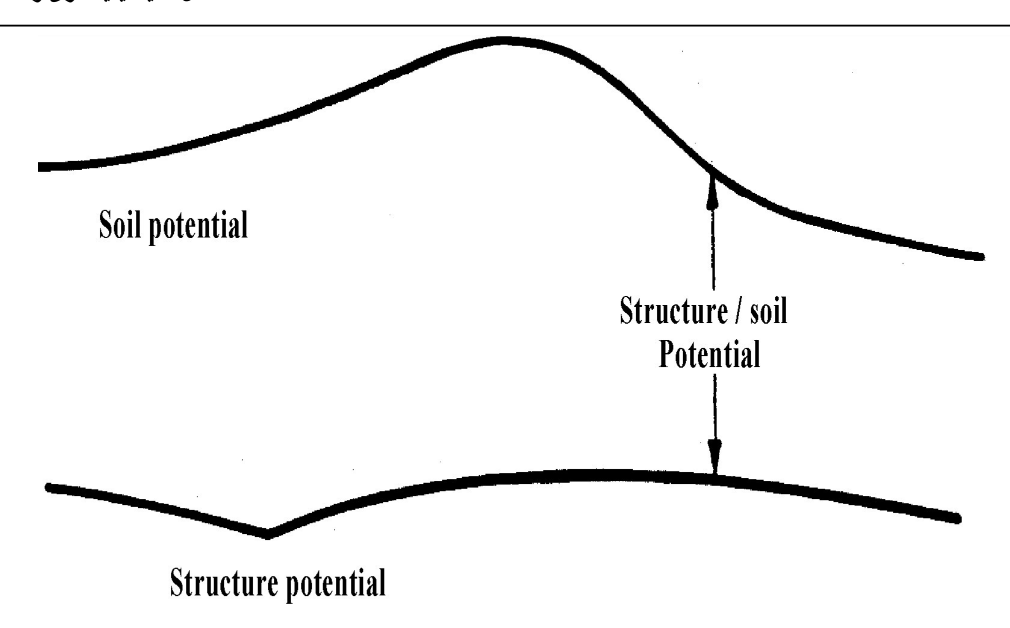


a. Protection system



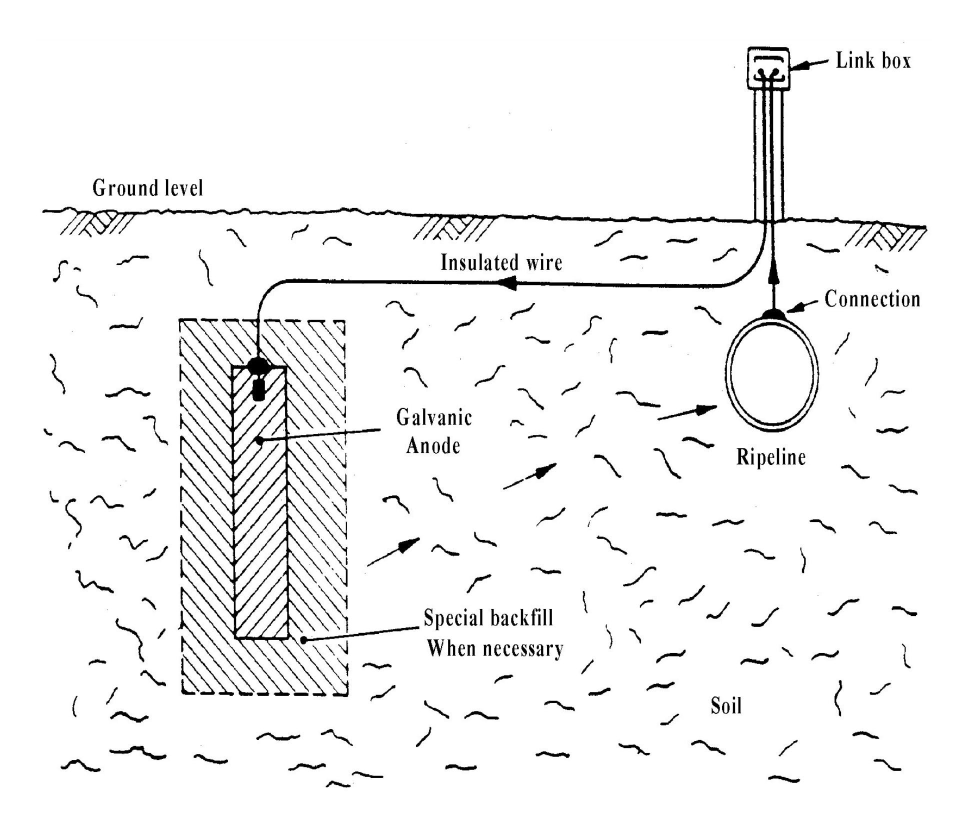
b. Initial potential

Fig (5-5) Cathodic protection system and distribution structure/electrolyte potential



c. After application of cathodic protection

Fig. (5-5) Cathodic protection system and distribution of structure / electrolyte potential



a. Cathodic protection of a buried pipeline (in most cases anodes need to be distributed along the route)

Fig. (5-6) Cathodic protection with galvanic anodes

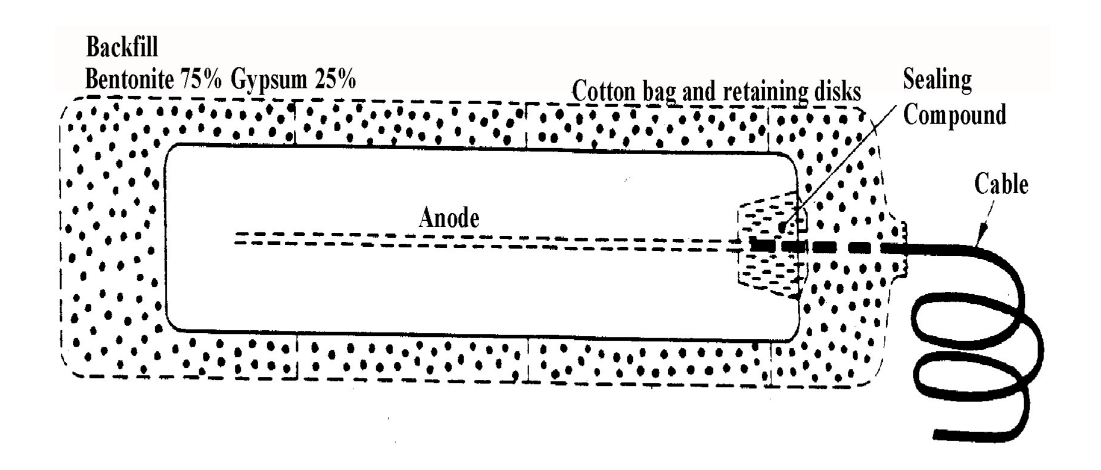


Fig. (5-7) Magnesium anode for burial prepackaged with backfill

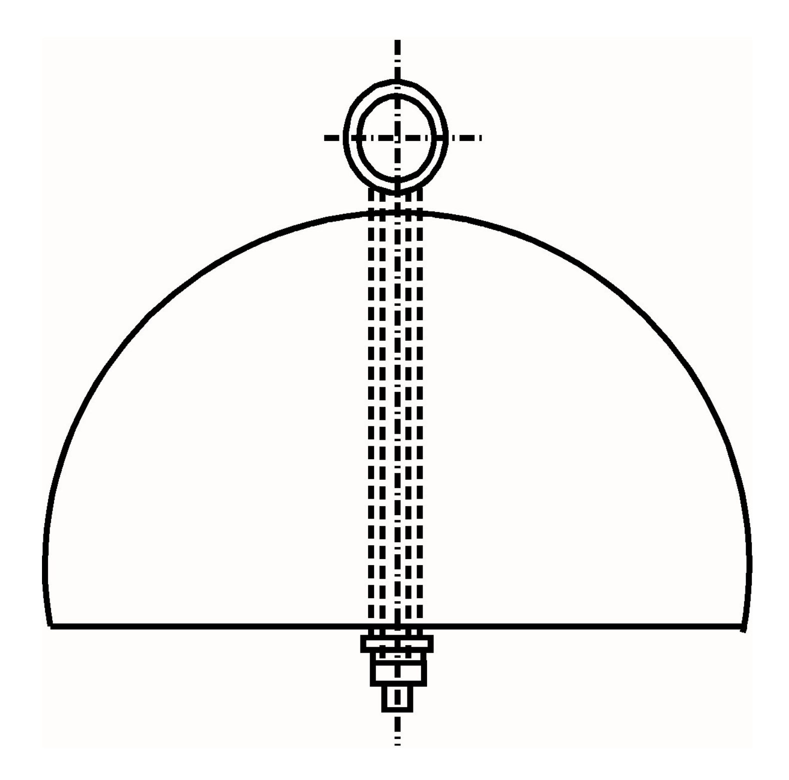


Fig. (5-8) Hemispherical galvanic anode for low resistivity waters

٥-٢-٢ الحماية الكاثودية

٥-٢-٢-١ أسس الحماية الكاثودية

تتم الحمايه الكاثوديه بأستخدام أنودات تتآكل – أو بإستخدام أنودات لاتتآكل أو تتآكل مع التغذيه بتيار ثابت ليكون جهد المعدن المراد حمايته هو جهد الخمول (جهد توفير الحمايه للمعدن) . ويتضمن التآكل وجود مناطق أنودية ومناطق كاثودية وتتم الحماية الكاثودية بإضافة تيار فى الاتجاه الذى يجعل المنشأ المراد حمايته كاثودا. وإذا كان التيار المضاف كافيا فإن جميع أجزاء المنشأ تعمل كاثود ولا توجد أى أجزاء به تعمل كأنود وهذا يستلزم إستخدام أنودات مساعدة.

لو كان الأنود المستخدم من معدن مثل الماغنسيوم فإن تيار الحماية يمر نتيجة القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من الخلية المتكونة. وربما تكون القوة الدافعة الكهربائية ناتجة من مصدر منفصل للتيار الكهربائى المستمر مما يعطى مجالا أوسع للإختيار بالنسبة للأنودات المساعدة بما فيها الأنودات المساعدة وبما فيها الأنودات الغير قابلة للإستهلاك. فى الشكل (٥-٤ b) المساحات الأنودية (A) والمساحات الكاثودية C ظهرتا منفصلتين لإمكان رؤية التيار فى المنطقتين. معيار الحماية الكاثودية هو انخفاض التيار المار فى الدائرة الأنودية إلى الصفر أو يعكس اتجاهه - فى كل الأحوال فإن المناطق الأنودية والكاثودية هى أجزاء من نفس السطح المعدنى كما هو موضح فى الشكل (٥-٣) حيث تكون المساحات الأنودية المتفرقة صغيرة ويصبح من المستحيل فى معظم الأحوال تأكيد تحقيق الحماية الكاثودية بقياس التيار. من الممكن فى معظم المعادن تحديد قيمة الجهد للمعدن / الإلكتروليت الذى لا يحدث عنده التآكل فى أوساط معينة مثل التربة أو المياه الطبيعية.

٥-٢-٢-٢ معيار الحماية الكاثودية Cathodic Protection Criteria

الأرقام النمطية المتوسطة لشدة التيار اللازم لتحقيق الحماية الكاثودية معروضة فى الأجزاء التالية من هذا الكود. وهى تعطى مؤشرات عامة.

جدول (٥-١)

المعدن	قطب المرجع			
	نحاس/ كبريتات نحاس	فضة / كلوريد فضة ماء البحر	فضة/كلوريد فضة محلول كلوريد بوتاسيوم مشبع	زنك / ماء البحر
الحديد والصلب	فى وجود الهواء - ٠,٨٥	- ٠,٨٠	- ٠,٧٥	+ ٠,٢٥
	فى غير وجود الهواء -٠,٩٥	- ٠,٩	- ٠,٨٥	+ ٠,١٥
الرصاص	- ٠,٦٠	- ٠,٥٥	- ٠,٥٠	+ ٠,٥٠
سبائك النحاس	- ٠,٥٠ إلى – ٠,٦٥	- ٠,٤٥ إلى – ٠,٦	- ٠,٤ إلى – ٠,٥٥	+ ٠,٦ إلى + ٠,٤٥

الألومنيوم				
أ- الحد الموجب	- ٠,٩٥	- ٠,٩٠	- ٠,٨٥	+ ٠,١٥
ب- الحد السالب	- ١,٢٠	- ١,١٥	- ١,١٠	- ٠,١٠

وكما هو موضح فى الشكل (٥-٣) فإن التغير فى الجهد وبالتالى فى شدة التيار الموضعى الناتج عن نظام الحماية الكاثودية يتغير بدرجة ملموسة على السطح المحمى. بشكل يعتمد على الشكل الهندسى للمنشأ وعلى مقاومة المياه أو التربة أو الوسط الملامس للمنشأ مباشرة.

الجدول رقم (٥-١) يبين جهد الحماية المطلوب لتوفير الحماية الكاملة للمعادن المختلفة - مقاسا ضد أقطاب مرجع مختلفة. اختلاف الجهد المبين فى الأعمدة المختلفة ناشئ نتيجة إستخدام أقطاب مرجع مختلفة - تتحقق الحماية الكاملة عندما تكون قيمة الجهد تساوى أو أكثر سلبا من القيم المبينة بالجدول رقم (٥-١).

ملاحظات

١- جميع الجهود مقربة إلى أقرب مضروب ٠,٠٥ فولت. جهد الإلكترود فى ماء نظيف غير مخفف جيد التهوية (Aerated) .
٢- لا يمكن وضع توصيات مؤكدة لحماية الألومنيوم - فهذا المعدن يتعرض للتآكل عند قيم سالبة مرتفعة للجهد. وهناك دلائل على أنه يمكن أن يمنع حدوث التآكل إذا كان الجهد فى الحدود المذكورة بالجدول. وكبديل فإن جعل جهد المعدن / الإلكتروليت أكثر سلبا من قيمته الأصيلة بمقدار ٠,١٥ فولت يؤدى إلى حماية مواسير الألومنيوم.
٣- الرصاص يتآكل أحيانا فى المحاليل القلوية عند جهد عالى السلبية.
٤- الصلب الغير قابل للصدأ فى كثير من الأوساط لا يحتاج إلى أى نوع من أنواع الحماية. وفى بعض الحالات تستخدم الحماية الأنودية. فى الغالب يتعرض الصلب الغير قابل للصدأ للتآكل الشقى (Crevice Correction) الذى يحدث بين معدنين أو عند وصلات الجوانات. يعتبر التآكل الشقى حالة خاصة من التآكل نتيجة اختلاف التهوية Differential Aeration ويوجد فى الغالب فى الأوساط البحرية - ولقد وجد أن الحماية الكاثودية تقلل بدرجة كبيرة من حدوث وشدة هذا النوع من التآكل. إستقطاب الصلب اللاصدئى إلى قيمة شديدة السلبية ربما يتسبب فى تصاعد غاز الأيدروجين الذى يتسبب فى حدوث بثور (Blisters) وبالتالى إلى بعض النقص فى إجهاد الشد الميكانيكى.
٥- الصلب فى الخرسانة : بالنسبة للصلب المغلف جزئيا بالخرسانة سواء مدفونا أو مغمورا يتحدد جهد الحماية حسب المعدن المعرض وكما هو موضح فى الجدول (٥-١).

أما بالنسبة للحديد والصلب المغلف كليا بالخرسانة السليمة والخالية من الكلور لا يحتاج عادة إلى حماية كاثودية.

٥-٣ تصميم منظومات الحماية الكاثودية

يتناول هذا الجزء أسس تصميم منظومات الحماية الكاثودية ومراجعة وإعتماد التصميم والعمر التصميمى ومعيار شدة تيار الحماية. كما يتناول تصميم منظومات الحماية الكاثودية بإستخدام التيار المدفوع Impressed Current أو باستخدام الأنودات الجلفانية ومواصفات مكونات المنظومة ومواصفات تركيبها.

٥-٣-١ أسس التصميم

لقد تبين فى الجزء (٥-٢) أن الحماية الكاثودية الكاملة تحدث بإجبار التيار على المرور من الإلكتروليت المحيط إلى المنشأ عند كل النقط. ومعيار الحماية هو أن يكون جهد المنشأ / الإلكتروليت عند كل النقط أكثر سلبية من الجهود المذكورة فى الجدول (٥-١). شكل (٥-٢) يمثل بشكل عام نظام الحماية والذى يتكون من أنود مدفون أو مغمور ، وسيلة توصيل بالمنشأ المطلوب حمايته ومصدر للطاقة. فى حالة نظام التيار المسلط ، التيار يمر فى الأجزاء المعدنية من الدائرة فى الإتجاه الموضح بالسهم ويرجع من خلال الإلكتروليت (التربة أو الماء) إلى المنشأ المحمى. عندما يكون الانخفاض فى الجهد خلال الإلكتروليت أو المنشأ ملموسا ، فإن التغير فى الجهد نتيجة الحماية الكاثودية يكون غير منتظم كما هو واضح فى الأجزاء السفلية من الشكل. والعوامل التالية تؤدى إلى عدم انتظام الحماية الكاثودية :

١- صغر المسافة الفاصلة بين الأنود والمنشأ وخاصة إذا كانت مقاومة الإلكتروليت عالية.
٢- مقاومة عالية للتربة أو الماء وخاصة عندما تكون الأنودات قريبة من المنشأ.
٣- شدة التيار المرتفعة المطلوبة لحماية المنشأ وتتوقف شدة التيار على جودة الدهان إن وجد وتوفر الأكسجين عند سطح المعدن ونشاط البكتريا Anaerobic Bacterial .
٤- المقاومة الكهربائية المرتفعة بين أجزاء المنشأ المختلفة. إن إرتفاع شدة التيار عند النقط القريبة من الأنودات ربما يكون مفيدا فى بعض الأحيان حيث يكون تركيز شدة التيار مطلوبا عند تلك النقط الأكثر طلبا أو إلحاحا. من الطبيعى أن تتوفر الحماية على سطح المعدن كله وأن يكون الجهد منتظما، ، حيث أن عدم الانتظام كما هو مبين فى شكل (٥-٥) يجعل الوضع غير إقتصادى لأن بعض الأسطح تتسلم تيارا أعلى بكثير مما هو لازم لتحقيق معيار الحماية ، علاوة على ذلك يجب ألا يصل الجهد إلى قيم سالبة مرتفعة ويصبح من المستحيل تلافى عيوب التصميم بزيادة التيار وبالتالى زيادة الجهد إلى مستويات أكثر سلبية. ويصبح من الضرورى إضافة أنودات إضافية فى حالة الحماية بنظام التيار المدفوع للمنشآت الضخمة ، ويتطلب هذا أيضا توفير مصادر إضافية للطاقة.

إذا كانت الحماية الكاثودية مطلوبة فإن الخطوة الأولى أن يتم تصميم المنشأ أو تعديله إذا كان مقاما فعلا بطريقة تجعل الحماية الكاثودية تتم بصورة اقتصادية.

ويجب إعطاء أهمية كبيرة لموضع الأنودات بالنسبة لبعدها عن المنشأ وتوزيعها على السطح. عند حماية المنشأ من خط مواسير باستخدام نظام التيار المدفوع فإن توفر مصدر للطاقة له إعتبارات هامة بالنسبة للتصميم.

٥-٣-٢ العمر التصميمى

العمر التصميمى لنظام الحماية الكاثودية باستخدام التيار المدفوع يجب أن يقل عن ٢٠ سنة.

كما يجب أن يصمم نظام الحماية الكاثودية على أساس استخدام الحد الأدنى من شدة التيار المبين بالجدول التالى :

جدول (٥-٢) الحد الأدنى المسموح لشدة التيار على السطح

حالة السطح	شدة التيار $m\ A/M^2$
غير مطلى (عاري)	٢٠
مغطى بشريط عازل	١,٢٥
مدهون إيبوكس كولتار	٠,٧٥
مغطى إيبوكس منصهر ملتصق بالسطح	٠,١٠
مغطى بالبولى أثيلين	٠,١٠

٥-٣-٣ تصميم منظومات الحماية الكاثودية بالأنودات الجلفانية

المقاومة الناشئة على سطح الأنود تعتمد على مقاومة الإلكتروليت وعلى شكل الأنود وأبعاده. حيث أن مقاومة أنود ذات حجم معين على شكل عمود مستدير تقل كلما زاد طول الأنود. وإن تأثيرها بزيادة القطر أقل من تأثير زيادة الطول على قيمة مقاومة الأنود. إذا كانت مقاومة الإلكتروليت مرتفعة (كما هو الحال فى معظم الأراضى) فيفضل أن تستخدم أنودات على شكل أعمدة أو كتل دائرية ، وفى حالة الأوساط عالية المقاومة جدا يفضل أن تكون الأنودات على هيئة شرائح رقيقة أو على هيئة شرائط.

فى حالة الإلكتروليتات منخفضة المقاومة فإن الحاجة إلى كمية كبيرة من المعدن تغطى العمر التصميمى يتطلب إستخدام أعمدة سميكة أو إلكتروليدات على شكل كروى كما فى شكل (٥-٨) ويمكن أن تحاط الأنودات المدفونة بغلاف Backfill من مادة ذات مقاومة منخفضة عن مقاومة التربة ، وذلك لخفض المقاومة (شكل ٥-٦) . يعتمد الخرج أيضا على القوة الدافعة الكهربية وبالتالى على مادة الأنود المستخدمة. يجب أن تحتوى الأنودات الجلفانية على وليجة Inserts من مادة أقل فى السلبية الكهربائية (مثل الصلب) لضمان الاستمرار والمتانة الميكانيكية حتى نهاية عمر الأنود. ويتم تشكيل الوليجة بحيث تضمن التثبيت الميكانيكى مع المعدن المحيط وفى حالة الزنك تكون الوليجة مجلفنة. ويمكن أن تبرز على شكل نتوء Lugs (أذن) لتوصيل الأنودات باللحام أو التثبيت بالمسامير.

يجب أن يكون التوصيل متينا بصورة كافية تتناسب مع ظروف التركيب والتشغيل ويصمم على أساس الإستهلاك التام لخام الأنود قبل فكه وإزالته.

فى بعض الإستخدامات يلزم وجود صناديق فصل بقطع التيار أو قياسه. ويجب أن تكون جميع التوصيلات مع جسم المنشأ محكمة وذات مقاومة منخفضة.

٥-٣-٣-١ مواصفات الأنودات الجلفانية

أهم السبائك المستخدمة فى الأنودات الجلفانية هى الماغنسيوم والزنك والألومنيوم. يتغير أداء السبيكة بتغير التركيب وكذلك بتغير ظروف التشغيل مثل درجات الحرارة ودرجة الملوحة وشدة التيار ، ولكن القيم الموضحة فى جدول (٥-٣) تمثل نمط خواص هذه السبائك فى ماء البحر. كذلك يمكن أستخدام الحديد الخرده كأنودات فى حالة أستخدام الحمايه بالتغذيه بالتيار الثابت.

جدول (٥-٣)

السبيكة	الجهد ضد قطب فضة/كلوريد فضة تحت ظروف التشكيل العادية	معدل الإستهلاك التقريبي كجم/أمبير - سنة
ماغنسيوم Mg – Al – Zn	- ١,٥ – ١,٧	٨
زنك Zn – Al – Cd	- ١,٠٥	١٢
Zn – Hg	- ١,٠٥	١٢
ألومنيوم Al – Zn	- ٠,٩٧	٤ – ٨
Al – Zn – Sn	- ١,١٠ إلى – ١,١٥	٤ – ٩
Al – Zn – Hg	- ١,٠٥	٣,٥ (تقريبا)

١- سبائك الماغنسيوم

تحتوى سبائك الماغنسيوم على حوالى ٦ % ألومنيوم و ٣ % زنك (الخارصين) وربما يضاف (٠,١٥ %) منجنيز لكى تبطل تأثير شوائب المعادن الثقيلة. تستخدم سبائك الماغنسيوم بكثرة عندما تتطلب الظروف استخدام قوة دافعة كهربية كبيرة مثل التربة والمياه النقية أو المياه الراكدة. ولأن ناتج التآكل غير سام تستخدم سبائك الماغنسيوم فى مياه الشرب وبصفة خاصة للأنودات المعلقة Suspended Anodes والحماية المؤقتة عندما تكون عدد الأنودات محدودة (على سبيل المثال للمركبات الراسية أو المتحركة).

ولأن سبائك الماغنسيوم يمكن أن تحدث جهدا شديد السلبية فإنها تتسبب فى تلف الدهان ، ولذا يجب استخدامها بحرص فى بعض التطبيقات علاوة على ذلك يتصاعد غاز الأيدروجين من أنود الماغنسيوم وقد يتولد الشرر الثرميتى عندما يرص الماغنسيوم على سطح صلب عليه صدأ مع إمكانية حدوث أخطار انفجار.

٢- الزنك

الزنك التجارى قليل الاستخدام بسبب حدوث استقطاب كبير نظرا لوجود الحديد كشوائب به. ولكن الأنودات المسبوكة من زنك عالى الجودة والمحتوى على أقل من ٠,٠٠١٥ % من الحديد يعمل بكفاءة مرضية. السبائك المصنعة من الزنك التجارى والأقل مقاومة تم تطويرها وتلاشى نشاط شوائب الحديد المؤثرة على الاستقطاب وذلك بإضافة الألومنيوم.

وقد استحدثت سبائك نمطية تحتوى على ٠,٥ % ألومنيوم وحتى ٠,١ % سليكون و/أو الكاديوم. وسبائك أخرى محتوية على إضافات صغيرة من عناصر أخرى منشطة مثل الزئبق للتغلب على حدوث إستقطاب الأنودات أثناء التشكيل.

وتستخدم أنودات الزنك فى مياه البحر ومن مميزاتها عدم تصاعد غاز الأيدروجين أو وجود أخطار إنفجار.

٣- الألومنيوم

تم تطوير العديد من السبائك المعتمدة على الألومنيوم وزاد استخدامها وخاصة فى مياه البحر ومنها سبائك ثنائية من الزنك المحتوى على ٣ % إلى ٧ % زنك. يعتمد أداؤها على درجة نقاء الألومنيوم المستخدم ويعتبر الحديد بصفة خاصة من الشوائب الضارة.

عند استخدام ألومنيوم بدرجة نقاوة أقل من ٩٩,٨ % يحدث استقطاب عالى وتنخفض المتانة الميكانيكية للسبيكة وذلك لتولد نواتج تآكل عالية المقاومة الكهربائية.

السبائك المصنعة من ألومنيوم عالى النقاوة (فائق النقاوة) تعطى متانة ميكانيكية مرتفعة وإستقطاب منخفض ولكنها تكون مرتفعة الثمن. ولكن انخفاض القوة الدافعة الكهربائية لهذه السبائك الثنائية قد جعل استخدامها محصورا فى ماء البحر ومن خواصها أن التيار يكون أسهل من حيث التحكم الذاتى عما هو فى الزنك. وقد إستخدمت سبائك ثلاثية محتوية على الزنك والقصدير مع إستخدام ألومنيوم تجارى النقاوة (سبيكة نمطية من ٥ % زنك و ٠,٠٨ % قصدير فى ٩٩,٨ % ألومنيوم نقى). ويمكن أن تعطى تلك السبائك قوة دافعة كهربية عالية جدا عن سبائك الزنك وفيض أعلى لوحدة الأوزان من المعدن. وقد انحصر استخدام تلك السبائك فى ماء البحر بدرجة كبيرة. وهناك سبائك أخرى تحتوى على الزئبق والزنك ذات فيض مرض.

كميات الهيدروجين المتصاعدة من أنودات الألومنيوم قليلة ، ولكن توجد أيضا مخاطر الإنفجار نتيجة الشرر الثرميتى من وجود المعادن الخفيفة على سطح الصلب المغطى بالصدأ.

٥-٣-٣-٢ خصائص الأنودات الجلفانية

أ- سبائك الألومنيوم المحتوى على زنك وزئبق

١- تستخدم هذه السبائك فى الماء الملحى.
٢- معدل الإستهلاك ٣,٢ كجم / أمبير - سنة تقريبا بمعدل استخدام ٩٥ %.
٣- جهد الدائرة المفتوحة فى ماء البحر ١,١٠ فولت تقريبا (تقاس بقطب مرجع نحاس / كبريتات نحاس).

ب- سبائك الألومنيوم المحتوى على الزنك و/أو القصدير أو الألومنيوم

١- تستخدم هذه السبائك إما فى السوائل المتحركة أو الطينية الملحية أو الرمل.
٢- معدل الاستهلاك يمكن أن يصل إلى ٩,٥ كجم / أمبير - سنة استخدام ٩٥ % .
٣- جهد الدائرة المفتوحة فى ماء البحر ١,١٠ فولت تقريبا (مقاسا بقطب مرجع نحاس / كبريتات النحاس).

ج- الماغنسيوم

١- يمكن استخدام أنودات الماغنسيوم فى أى وسط ولكن نظرا لمعدل الاستهلاك العالى ومعامل الاستخدام المنخفض فإنها لا تستخدم إلا فى الحالات التى تتطلب متانة عالية لأسباب اقتصادية.
٢- معدل الإستهلاك ٧,٩٠ كجم / أمبير - سنة تقريبا ومعامل الاستخدام ٥٠ % .

٣- جهد الدائرة المفتوحة ١,٧٠ فولت تقريبا (مقاس ضد قطب مرجع من النحاس / كبريتات النحاس).

د- الزنك

١- أنودات الزنك أغلى فى معظم الأحيان من أنودات الألومنيوم وليس لها قوة دفع أنودات الماغنسيوم مما جعل استخدامها محدودا.
٢- معدل استهلاك أنودات الزنك ١٠,٧ كجم / أمبير - سنة ومعامل الاستخدام ٩٥ % .
٣- غير مسموح استخدامها فى درجات حرارة أعلى من ٥٠ ° م .
٤- جهد الدائرة المفتوحة ١,١٠ فولت تقريبا.

جدول (٥-٤) خواص سبائك الأنودات

الخاصية	الألومنيوم	الماغنسيوم	الزنك
متوسط معدل الإستهلاك كجم / أمبير – سنة	٣,٤٣٥	٧,١٢	١١,٢١
أقصى شدة تيار مسموح فى ماء البحر mA/cm^2	٩٥	٥٠	٩٥
أقصى شدة تيار فى الماء mA/cm^2	غير محدود	٤٠	٠,٥
أقصى شدة تيار فى التربة mA/cm^2	١٥	١٠	١,٠

٥-٣-٤ تصميم منظومات الحماية الكاثودية بالتيار المدفوع Impressed Current

٥-٣-٤-١ مواصفات الأنودات

إن أهم خاصية لخامة الأنود هى العلاقة بين معدل الاستهلاك والتيار - وعلى ذلك فإن إستخدام الحديد كأنود يعطى حوالى ٠,١١ أمبير فى السنة لكل كيلوجرام ولذلك نحتاج إلى أكثر من ٩ كجم من الحديد لتعطى ١ أمبير / سنة .

والحديد الزهر يدوم لمدة أكثر من الحديد (الصلب) حيث يبقى الجرافيت المتبقى بعد تآكل كل الحديد على نشاط الأنود دون تأثير.

وفى الأوساط ذات المقاومة المنخفضة مثل مياه البحر حيث لا تحتاج إلى كميات كبيرة من مادة الأنود، فإنه من الأفضل استخدام مادة مدمجة Compact قادرة على تحمل شدة تيار مرتفع.

يمكن استخدام الجرافيت لتصنيع الأنودات ويعمل عند شدة تيار ٢,٥ أمبير / متر٢ مع استخدام مادة صمغية مخلقة لملء المسام ، وعندما تتم هذه المعالجة بصورة سليمة فإن معدل الاستهلاك يكون أقل من معدل استهلاك الحديد بصورة كبيرة. ويعتبر الكلور عدوانيا لأنودات الجرافيت. وأنودات الجرافيت هى المفضله فى حالة التغذيه بالتيار الثابت (لانها لاتتآكل).

تتوفر أيضا سبائك مقاومة للتآكل (الهجوم) طالما كانت شدة التيار على السطح ليست مفرطة وذلك نتيجة تكون طبقة من ناتج التآكل جيدة التوصيل لضمان استمرار العمل بصورة جيدة - على سبيل المثال - الحديد الزهر عالى السليكون يعمل عند تيار شدته فى حدود ٥ أمبير/ متر٢ إلى ٥٠ أمبير / متر٢ ومعدل استهلاك فى حدود ٠,٢ كجم / أمبير . سنة إلى ١ كجم/ أمبير. سنة معتمدا على شكل وحالة الأنود ويناسب الاستخدام فى المنشآت المدفونة أو المغمورة.

تستخدم سبائك رصاص ذات تركيبات مختلفة فى ماء البحر وتتميز هذه الأنودات بتكوين طبقة من أكسيد الرصاص الموصلة والغير قابلة للتلف السريع والتى يعاد تكوينها ذاتيا إذا تلف – مثال – سبائك الرصاص المضاف إليها ٢ % فضة يمكن أن تتحمل تيار شدته حتى ١٠٠٠ أمبير / متر^{٢} . وسبائك أخرى يسبك فيها الرصاص بإضافة ٠,١ % فضة و ٠,٠١ % تليريوم. كما توجد سبائك رصاص أخرى كثيرة حيث تعتمد شروط تشغيلها على نوع السبيكة وسبائك الرصاص لا تصلح للإستخدام فى الطمى.

٥-٣-٤-٢ مهد الأنودات

سواء كانت الأنودات سوف تدفن فى الأرض أو تغمر فى الماء يجب أن يكون وزنها كافيا لعدد السنوات التى يحددها التصميم - وكذلك يجب أن تصمم بحيث أن التوصيلات لا تكسر قبل أن يتم الإستهلاك الكامل لمادة الأنودات.

تكامل العزل بالنسبة لكابل التوصيل بالأنود ضرورى حيث أن أى معدن يتعرض (يلامس) الإلكتروليت (التربة – أو الماء) يتآكل بسرعة. يجب اختبار موضع الأنودات أو المهد بالنسبة للمنشآت المطلوب حمايتها - بعناية فائقة فى جميع الحالات لأن قرب المسافة بين الأنودات والمنشآت تسبب جهدا موضعيا زائدا (Over Potential) علاوة على سوء توزيع تيار الحماية. ومن جهة أخرى فإن بعد المسافة بين الأنودات والمنشأ يؤدى إلى زيادة فى استهلاك الكابلات الكهربائية وزيادة تكلفة الطاقة الكهربائية للتغلب على الانخفاض فى الجهد.

ناتج التفاعل عند الأنود هو فى العادة أكسجين ولكن فى محاليل الكلوريدات فإن التفاعل عند الأنودات غير المستهلكة تنتج كلور ، وعلى ذلك يجب استخدام مواد مقاومة للكلور لتركيب الأنودات أو لتوصيل أى كابلات قريبة. إن تصاعد الكلور يسبب إزعاج وفى الأماكن المغلقة يخلق الأخطار.

٥-٣-٤-٣ مصدر الطاقة

١- وحدات المحولات / الموحدات

عند توفر مصدر مناسب للتيار المتردد يستخدم غالبا محول / موحد كمصدر للطاقة على الرغم من إمكانية استخدام مصادر أخرى. يجب أن يكون الجهد المستمر DC خاضعا للتحكم عند استخدام مصدر عام للتيار المتردد باستخدام عدد من التفريعات (Tapings) على المحول. فى بعض الاستخدامات يفضل إستخدام محولات / موحدات مجهزة بوسيلة للتحكم فى التيار المستمر.

الموحدات غالبا ما تكون من نوع السيلينيوم والسليكون أو الجرمانيوم. ونظرا لأن الحمل مستمر فإن كفاءة التشغيل والمحافظة عليها يمثل أهمية خاصة. الموحدات / المحولات يجب أن تحقق المواصفات القياسية البريطانية رقم BS 2709, 148, 85171 .

٢- معدات التحكم

فى العادة يلزم وجود تجهيزة للتحكم فى تيار الحماية حتى يمكن الحصول على جهد الحماية المناسب وتثبيت هذا الجهد. وعندما تكون الظروف مستقرة كما هو الحال عادة مع المنشآت المدفونة - يكفى ضبط خرج الموحدات باستخدام مقاومة متغيرة مستقلة على كل أنود أو على طرف الكاثود فى حالة عدة أنودات مغذاة من نفس الموحد.

يقاس جهد المنشأ / الإلكتروليت على فترات ويتم إجراء أى ضبط مطلوب لمتابعة الجهد بين المنشأ / الإلكتروليت وللتأكد من المتابعة المستمرة والتشغيل الجيد يلزم تركيب فولتميتر لقراءة الجهد المستمر

الخارج وأميتر لقياس التيار الكلى الخارج وأميتر على كل أنود فى حالة وجود أكثر من أنود مغذى من نفس الموحد. ونظرا لتغير درجة الملوحة أو تغير فى معدل السريان فى المصانع أو تغير فى درجة الرطوبة بالتربة ، فإنه يمكن استخدام التحكم اليدوى إذا توفر الإشراف المناسب ، ولكن يفضل استخدام التحكم الأوتوماتيكى حيث يمكن نظام التحكم من الحفاظ على تيار الحماية فى حدود الحد الأدنى المطلوب لتحقيق معيار الحماية الكاثودية. وفى حالة المنشآت المطلية يصبح ضروريا استخدام نظام تحكم أوتوماتيكى.

فى حالات المنشآت المغمورة فإن إلكترودات مرجعية من الفضة / كلوريد الفضة أو إلكترود زنك / ماء البحر - تكون مناسبة كإلكترودات ثابتة (Permanent). ويمكن استخدامها للتحكم اليدوى أو كإلكترود حساس فى النظم الأوتوماتيكية. ويمكن الاعتماد على إلكترود واحد للتحكم فى خرج أنود معين. بالنسبة للمنشآت العارية (غير المدهونة) يفضل وضع إلكترودات المرجع فى أماكن بعيدة عن الأنودات. حيث يكون تأثير الحماية الكاثودية أقل ما يمكن وبالتالى ضمان جهد المنشأ / الإلكتروليت سالب بدرجة كافية عند كل النقط.

بالنسبة للأسطح المعدنية المدهونة أو المغطاة يلزم التأكد من أن جهد المنشأ / الإلكتروليت لا يصل إلى قيمة سالبة مرتفعة حتى لا تتسبب فى تلف وتدمير طبقة الدهان ويفضل اختيار مكان متوسط.
وغالبا يتم استخدام إحدى الطريقتين فى نظام التحكم الأوتوماتيكى :

١- تحكم ذو مستويين Two Level Control عندما يحدث تغير كبير بين مستويين محددين تماما للتيار المطلوب (على سبيل المثال التغير من حالة السكون إلى حالة الحركة) ، فإن ذلك يتطلب وضعين فقط للتيار ويمكن تركيب مفتاح (Switch) للتغير من وضع إلى آخر ويتم ذلك أوتوماتيكيا.
٢- تحكم أوتوماتيكى كامل Full Automatic Control يتم إستخدام وحدات إمداد القوى الأوتوماتيكية والتى تعتمد على الثيرستورات Thyristors والترانزستورات (Transistors) وتقوم بتغيير التيار الخارج لكى تحافظ على جهد المعدن / الإلكتروليت قريبا من القيمة المضبوطة مقدما - والتى تعتمد على مكان الإلكترود الحساس. بالنسبة للأشكال المعقدة يتم تركيب معدات تتقبل إشارات من عدد من الإلكترودات الحساسة وتقوم بإستبعاد القيم الواقعة خارج المدى، وضبط الخرج بحيث تكون أقل قيمة سالبة عند القيمة المضبوطة مسبقا. يمكن أن يغذى عدد من الأنودات من وحدة تحكم واحدة وحتى ولو كانت مركبة على أجزاء مختلفة من المنشأ. وهذا النظام مناسب ما دامت ظروف التشغيل متشابهة بدرجة كبيرة أو يمكن توصيل وحدات تحكم منفصلة كل واحدة متصلة بإلكترود حسى مثبت فى مكان مناسب فى كل دائرة أنود. وكل وحدة تحكم يمكن تثبيتها فى مكان ملائم بالقرب من الأنود الذى تتحكم فيه مع إمكانية تجميع وحدات التحكم مع بعضها.

إمداد وحدات المحولات / الموحدات

فى الأماكن الريفية يتم إمداد الموحدات / المحولات من خطوط علوية ، لذلك عند التخطيط لمكان مهد الأنودات يجب إتخاذ الإحتياطيات للتأكد من عدم وجود أى أسلاك شاردة فى حدود منطقة مهد الأنودات.
عند تغذية المحولات / الموحدات عن طريق معدات أرضية يفضل استخدام كابلات بغلاف خارجى مقاوم للتآكل من مادة عازلة مثل البولى فينيل كلوريد تساعد على خفض التداخل. وعلى الرغم من أن تأريض المنشآت الكهربائية هى مسئولية صاحب المنشأة فإنه يمكن أن يطلب من هيئة الكهرباء أن تقوم بإمداد طرف تأريض عند مكان المعدات. وفى حالة توصيل طرف التأريض بالهيكل المعدنى للمحول / الموحد يجب إتخاذ الإحتياطيات لمنع حدوث إتصال معدنى ولو لفترة وجيزة بين منظومة التأريض ومهد الأنودات الخاص بوحدة الحماية الكاثودية.

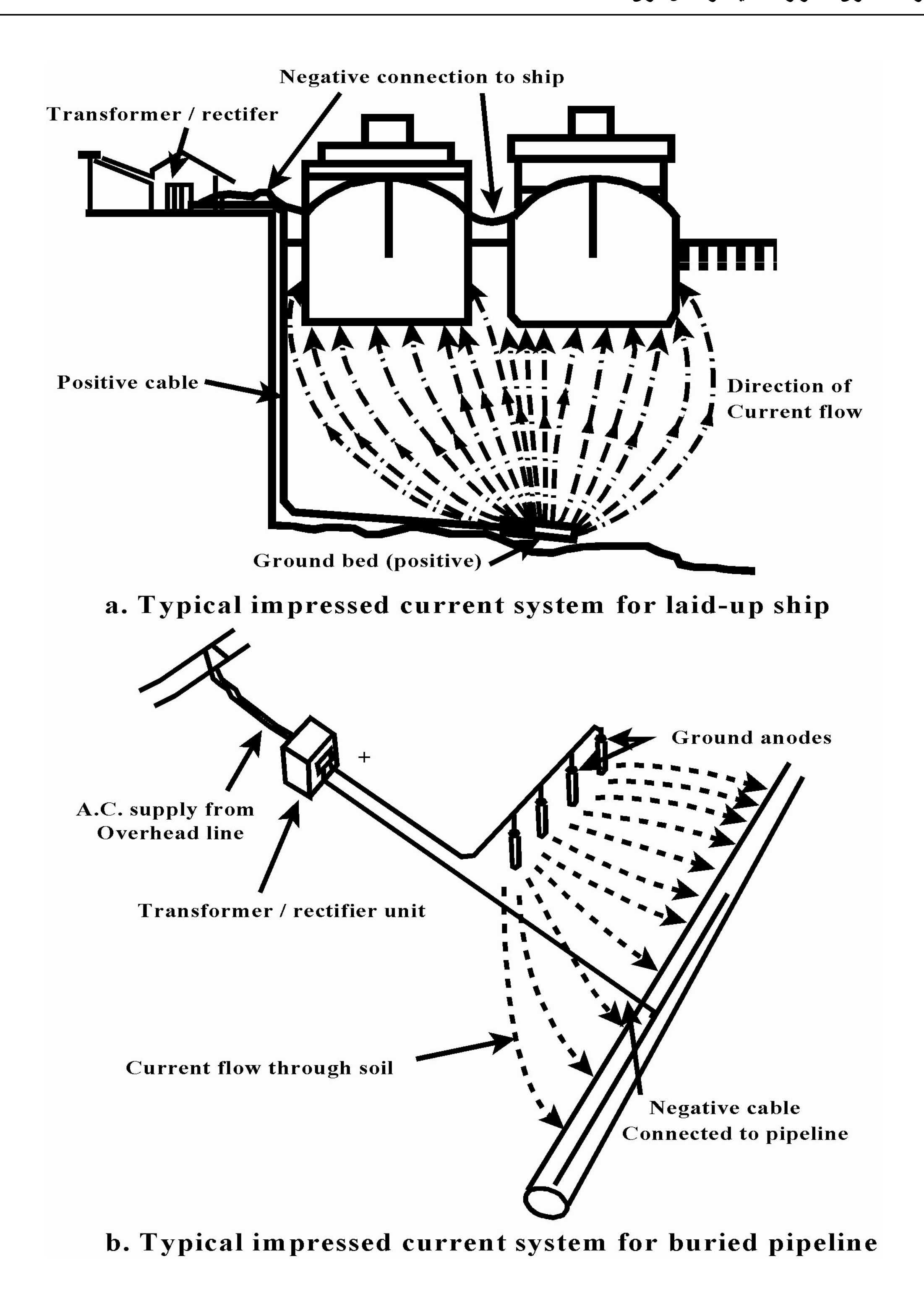


Fig. (5-9) Typical impressed current schemes

٥-٤ التأثيرات الجانبية للحماية الكاثودية

إن إستخدام الحماية الكاثودية ينتج عنه تأثيرات ثانوية منها زيادة القلوية وتصاعد غاز الأيدروجين على السطح ونتيجة لذلك تحدث التأثيرات الآتية :

١- تتسبب القلوية فى تلف وانهيار طبقة الدهان وتحللها ويمكن تلافى هذا التأثير والإقلال منه بتلافى استخدام جهد سالب مرتفع واستخدام دهانات ذات مقاومة عالية فى الأوساط القلوية.
٢- تؤدى القلوية إلى تكون رواسب كلسية (Chalking) فى مياه البحر أو المحاليل المشابهة وهذه الطبقة تساعد على انخفاض التيار المطلوب بتحقيق الحماية.
٣- تآكل الألومنيوم فى الأوساط القلوية - ويمكن حمايته كاثوديا بالحفاظ على قيمة الجهد داخل حدود معينة.
٤- من الممكن أن يتآكل الرصاص أثناء حمايته كاثوديا فى الأوساط القلوية.
٥- ربما يحدث الأيدروجين المتصاعد عند الجهود السالبة المرتفعة خطر الانفجار فى الأماكن المغلقة.
٦- يمثل التقصف الأيدروجينى Hydrogen Embattlement خطرا بالنسبة للصلب عالى الإجهاد.
٧- خلال المراحل الأولى من تشغيل الحماية الكاثودية تنفصل طبقة الصدأ والقشور من سطح المعدن ويمكن أن تتسبب فى غلق مسارات المياه وتسبب مشاكل وصعوبات أخرى خلال فترة قصيرة.
٨- ربما يتصاعد الكلور عند سطح الأنودات الخاصة بمنشآت الحماية الكاثودية بالتيار المدفوع فى المحاليل المحتوية على كلوريدات وقد يسبب هذا إزعاجا أو يخلق أخطارا عديدة.

٥-٤-١ تأثيرات التيارات الشاردة من منشآت الحماية

عندما يكون هناك منشأ محمى أو عندما توجد أنودات أو مهد أنودات واقعة بالقرب من منشآت معدنية أخرى مدفونة أو مغمورة ولكنها غير معزولة عزلا كاملا عن الأرض فإن المنشآت الأخيرة والتى تسمى منشآت (ثانوية) تقوم عند نقطة معينة بإلتقاط (Pick up) جزءا من تيار الحماية وذلك نتيجة تدرج الجهد بالتربة أو بالماء وإرتجاعه ثانية إلى الأرض عند نقط أخرى. ونتيجة ذلك فإن المنشأ الثانوى يتآكل عند تلك النقط الأخيرة.

٥-٤-٢ تفادى التلف أو الأخطار الناتجة عن زيادة الجهد الكهربائى

تسبب زيادة الجهد الناتجة عن أخطاء فى معدات القوى أو من الصواعق تلفا خطير فى معدات الحماية الكاثودية. عند تركيب الوصلات العازلة فى المنشأ المحمى فإن ذلك يؤدى إلى خطر حدوث الشرارة الومضية (Flash Over) والإنفجار إذا أحتوى المنشأ على مادة ذات درجة اشتعال (درجة وميض) Flash Point منخفضة .

١- تلف معدات الحماية الكاثودية نتيجة زيادة الجهد الكهربائي

إن مهد الأنودات الخاص بنظام الحماية الكاثودية هو أفضل وسيلة متاحة للتوصيل بالأرض فى موقع ما وهذا يجعل المعدات المتصلة به معرضة لجهد كهربائى زائد أو تيار عال والذى ينشأ من أخطاء فى وحدات القوى أو الصواعق.
لذلك يجب تركيب (Surge Diverter) أو (Spark gab) واق على أطراف الخرج للمحولات / الموحدات.

٢- عزل المنشآت المدفونة ذات الصلة بنظام الحماية ضد الصواعق

(Lightening Protection System)

عندما يوجد نظام واق ضد الصواعق يجب الحرص عند تركيب وصلات عازلة (Isolating Joints) فى المنشآت المدفونة ، ويتطلب الكود الخاص بهذا الموضوع أن يتم توصيل (Bonding) قميص الكابلات المعدنى والمواسير المعدنية وما شابه ذلك من أشياء تدخل المبنى أو منشآت مشابهة بالطرف

الأرضـى لمنظومة الوقاية ضد الصواعق مباشرة عند نقطة دخولها المبنى. وهذا التوصيل (Bonding) ضرورى من أجل تلافى حدوث أى تلف و انهيار للمواسير أو الكابلات نتيجة تفريغ شحنات صواعق.

ويجب أن يتم توصيل فجوة تفريغ الموصلات العازلة للحصول على توصيل كاف بين مجموعتى الأرضى أثناء تيار الصاعقة.

٥-٥ الوسائل المستخدمة لحماية المنشآت المجاورة

يتناول هذا الجزء دراسة كيفية التآكل السريع للمنشآت المجاورة نتيجة الحماية الكاثودية للمنشآت المدفونة أو المغمورة والاحتياطيات الواجب اتخاذها لتلافى هذا التداخل.

٥-٥-١ عام

إن استخدام الحماية الكاثودية للمنشآت المدفونة أو المغمورة (يطلق عليها المنشآت الأولية) تسبب مرور تيار مستمر فى التربة أو الماء المجاور لهذا المنشأ ، فإذا عبر جزء من تيار الحمايه بالقرب من مواسير مدفونة أو مغمورة أو كابلات أو أى منشآت مشابهة (تسمى منشأة ثانوية) والتى ربما لا تكون محمية بما يؤدى الى أن يزداد معدل التآكل على تلك المنشآت فى النقط التى يترك عندها التيار المنشأ الثانوى ويعود إلى المنشأ الأولى. وهذا التأثير يسمى التآكل التبادلى. يمكن خفض التآكل التبادلى بإتخاذ احتياطيات معينة أثناء مرحلة التصميم. ويمكن إصلاحه بتوصيل (Bonding) المنشأ الثانوى بالمنشأ الابتدائى حيث يصبح الأول تحت تأثير الحماية الكاثودية. وعند استخدام هذه الطريقة يجب اتخاذ إجراءات الأمان اللازمة بجانب إمكانية حدوث التآكل فإن التيار القادم من منظومات الحماية الكاثودية قد يتداخل مع الدوائر التليفونية.

٥-٥-٢ المنشآت المدفونة

٥-٥-٢-١ إعلان مالكى المنشآت المجاورة

من الضرورى خلال مراحل التخطيط والتركيب والإختبار والتسليم والتشغيل لنظم الحماية الكاثودية إخطار جميع المنظمات التى تمتلك مواسير معدنية مدفونة أو كابلات أو منشآت أخرى بالقرب من الموقع وذلك للتأكد من إتاحة المعلومات اللازمة لتركيب المنظومة بصورة تجعل التآكل التبادلى أقل ما يمكن ولكى تتوفر المعلومات الكافية للمنظمات الأخرى لتحديد مدى إمكان حدوث التآكل التبادلى من عدمه.

١- الإخطار المبدئى

فى حالة متقدمة أثناء التخطيط لمنظومة الحماية الكاثودية يجب إرسال إخطار مبدئى لكل منظمة لها منشآت مدفونة بالقرب من الموقع المقترح. يجب أن يشمل الإخطار على المعلومات المذكورة ويجب عدم تأخيرها حتى تتوفر جميع المعلومات.

١- نوع نظام الحماية المقترح - هل نظام الأنودات الجلفانية أو نظام التيار المدفوع؟
٢- خريطة توضح مكان ومسار المنشأ المطلوب حمايته.
٣- مكان مهد الأنودات أو الأنودات لو كانت معروفة فى تلك المرحلة.
٤- المواعيد المقترحة لإجراء الاختبارات المبدئية وبدء تشغيل المنظومة.
٥- الاختبارات المبدئية تقترن باختبارات التداخل على المنشآت الثانوية الممكن حدوث التداخل بها وفى هذه الحالة يحدد التيار المقترح استخدامه.

٢- الإخطار الثانى
إذا كانت أى معلومات غير متوفرة أثناء إبلاغ الإخطار المبدئى يجب إرسال هذه المعلومات فى وقت لاحق قبل التاريخ المحدد لإختبار التآكل بشهر على الأقل. وعلى وجه الخصوص أماكن وجهد الأنودات المقترح يجب أن تبلغ قبل بدء التركيب ويلزم إبلاغ تاريخ إجراء أى اختبارات ابتدائية لإجراء الاستقطاب. فى حالة الأنودات الجلفانية فإن المعلومات يجب أن تشمل الأماكن النسبية للأنودات والمنشآت الثانوية والابتدائية. وربما يتفق الأطراف على عدم ضرورة إجراء أى اختبارات فى حالة الأنودات الجلفانية.

٣- إخطار بإجراء اختبار التآكل التداخلي
بعد إتمام إجراء أى إختبارات مبدئية أو فى نهاية المدة اللازمة لتحديد تأثير الاستقطاب. يجب إخطار جميع الهيئات التى لها منشآت قد تتأثر بتشغيل النظام. ويجب إعطائهم المعلومات التالية قبل شهر على الأقل من التاريخ المقترح لإختبارات التداخل.

أ- خريطة ذات مقياس رسم مناسب موضحا عليها موقع ومسارات المنشآت الابتدائية أو المنشآت الأخرى بتفاصيل كافية لتوقيع المهد والأنودات الجلفانية ونقط التقاطع والربط بالمنشآت الأخرى.
ب- تيار التشغيل للموحدات أو تيار الأنودات الجلفانية أثناء اختبارات التداخل ويلزم ذكر ما إذا كان سيتم استخدام معدات دائمة أو مؤقتة.
ج- ذكر جهد المنشأ / التربة على المنشأ الابتدائى قبل وبعد استخدام الحماية.
د- مواعيد إجراء الاختبارات.

٤- الإعلان النهائى
لو حدث تغير فى النظام بعد الإعلان المبدئى أو فى أى وقت بعد تشغيل نظام الحماية بصورة منظمة فإنه يلزم إرسال مذكرة بتفاصيل التغيير إلى الهيئات التى تمتلك منشآت معدنية مدفونة بالقرب من النظام المعدل. ومن المفيد إجراء اجتماعات بين الأعضاء عند أى مرحلة لتغيير المعلومات واتخاذ الإجراءات لأى اختبارات.

٥-٥-٢-٢ اختبارات التداخل

١- المرحلة التى يجرى عندها اختبار التداخل
يجب إعطاء مهلة مدتها شهر لمالكى المنشآت المتجاورة لاختبار تفاصيل النظام المقترح والترتيب لاختبارات التداخل. وفى الحالات التى يلزم فيها تحديد تأثير الاستقطاب على قيمة التيار المطلوب يتم تشغيل منظومة الحماية الكاثودية لفترة ثم يتم إجراء الاختبارات إما بعد فترة التشغيل مباشرة أو بعد إيقاف التيار لفترة وذلك حسب اتفاق الأطراف المعنية. الاختبارات تتم خلال ثلاثة أشهر من تشغيل الحماية الكاثودية.

٢- اختبارات تقييم التآكل التبادلى
التغير فى جهد المنشأ / الإلكتروليت نتيجة التداخل يتغير على طول المنشأ الثانوى وحدوث تغيرات سالبة عند أى نقطة يعنى وجود تغيرات موجبة عند أجزاء أخرى على المنشأ. وفى معظم المعادن فإن التغيرات الموجبة فى قيمة الجهد تؤدى إلى زيادة سرعة التآكل.

إن هدف إختبار التداخل هو إيجاد المناطق التى يكون تغير الجهد فيها موجبا ولتحديد عدد من الأماكن والنقط التى يبلغ التغير فى الجهد قيمة عظمى.

وفى بعض الحالات فإن تغير الجهد السالب بقيمة تزيد عن المستوى المطلوب للحماية يكون له تأثير سلبى على المنشأ والدهان.

قيمة التيار المستخدم فى الاختبارات يجب أن يكون مساويا لأعلى قيمة متوقعة أثناء ظروف التشغيل العادية للوصول إلى مستوى الحماية المطلوبة للمنشأ أو قيمة أقل متفق عليها بين الأطراف إذا كان الحصول التيار الكامل غير ممكن أثناء الاختبار.

المعيار المطلوب هو أن يكون التغير فى الجهد على المنشأ الثانوى بالنسبة للوسط الإلكتروليتى المحيط به والذى يحدث عند تشغيل الحماية الكاثودية أو عند توصيل الأنودات الجلفانية يساوى عدديا التغير الذى يحدث عند قفل الحماية ولكن باختلاف الإشارة.

والتغير المسجل يجب أن يكون هو التغير الناتج عن إيقاف Switch off وحدة الحماية الكاثودية ولا تزيد المدة المسموح بها ليظهر التغير الناتج فى جهد المنشأ / الإلكتروليت عن ١٥ ثانية.

إذا كان هناك أى تغير فى الجهد نتيجة تأثير التيارات الشاردة من مصادر أخرى ، فإنه يتم تسجيل التغيرات الناتجة من فتح وقفل الحماية الكاثودية. علما بأن اختيار مكان وضع قطب المرجع مهم جدا. يتم فتح وقفل وحدة الحماية بالتتابع يدويا أو باستخدام Time Switch على فترات محددة مدتها دقائق قليلة مثلا دقيقتين تشغيل وثلاثة دقائق قفل. عند كل وضع إختبار يتم ملاحظة الفرق فى الجهد بين المنشأ الثانوى وقطب المرجع الملامس للتربة والتغير الناتج من الحماية الكاثودية عند التغير بين الفتح والقفل مع التيار الناتج من وحدات الحماية الكاثودية.

يتم دراسة تفصيلية على مسارات المواسير والكابلات ويتم قياس التغير فى جهد المنشأ / الإلكتروليت الناتج عن الحماية الكاثودية عند عدد من النقط وعلى مسافات متقاربة لإعطاء صورة متكاملة لتوزيع تغيير جهد المنشأ / الإلكتروليت مع التركيز على النقط التى يكون فيها التغير الناتج فى الاتجاه الموجب ونقط التقاطع والنقط شديدة القرب من المنشآت الثانوية والأولية.

٣- المعلومات المطلوبة خلال وبعد إنهاء إختبارات التداخل

يجب إبلاغ جميع الهيئات المشتركة فى الإختبارات وجميع المؤسسات التى لها منشآت معرضة للتداخل بتيار الحماية المقاس على كل وحدة من وحدات الموحدات خلال اختبارات التداخل.

٤- الإختبارات بعد إتمام العلاج

ربما نحتاج إلى اختبارات إضافية بعد إتمام إجراءات العلاج المتفق عليها إذا وجد بعد إتمام الربط (Bonding) بين منشأتين لخفض التداخل (Interaction) . فإذا كان جهد المنشأ الثانوى سالبا بدرجة كبيرة عن الجهد المقاس فى الحماية الكاثودية فى وضع القفل أثناء اختبار التداخل المبدئى يكون هذا فى الغالب كافيا على أن الربط يؤدى الغرض.

قد يحدث فى بعض الحالات أن يكون جهد المنشأ / الإلكتروليت المبدئى للمنشأ أكثر سلبية عن جهد المنشأ الابتدائى. على سبيل المثال فالمنشأ المصنع من الصلب المجلفن بدون حماية كاثودية حتى عندما يتغير جهد المنشأ / الإلكتروليت فى اتجاه الموجب نتيجة تأثير نظام حماية كاثودى قريبة منه ، ربما يكون أكثر

سلبية من منشأ صلب مجلفن محمى كاثوديا. فى هذه الحالة فإنه لا يمكن التغلب على التأثير السلبى عن طريق الربط حيث التأثير الجلفانى بين المنشأ الإبتدائى والثانوى ، لذلك فإن جهد المنشأ / الإلكتروليت للأجهزة يصبح أكثر موجبا. وهذا التأثير يكون أكبر من أى تأثير مفيد نتيجة الحماية الكاثودية والربط يكون مؤثرا فقط يجعل المنشأ الإبتدائى أكثر سلبية. ويمكن أن يتم ذلك بزيادة تيار الحماية الكلى أو تحريك إحدى مهد الأنودات بالقرب من النقطة التى سيتم عندها الربط. أو كبديل استخدام نظام حماية كاثودية بتركيب الأنودات الجلفانية وتوصيله بالمنشأ الثانوى وفى حالات خاصة وجد أنه من الممكن طبقا لموافقة خاصة بين الأعضاء قبول أن يكون التغير فى جهد المنشأ / الإلكتروليت على المنشأ الثانوى أكبر من الحدود الطبيعية المقبولة وبالتالى تفادى الحاجة إلى أى علاج.

٥- اختبارات الإعادة Repeat Tests

بعد تشغيل نظام الحماية الكاثودية وبدء الخدمة يتم عمل ترتيبات لإجراء اختبارات إعادة على المنشآت المجاورة على فترات سنوية أو فترات يتفق عليها بين الأعضاء المعينين ، يعتمد على مقدار التغير الذى يظهر فى جهد المنشأ / الإلكتروليت وعندما يحدث التغير على المنشأ الإبتدائى أو المنشأ الثانوى.

٥-٥-٢-٣ معيار التآكل نتيجة التداخل

كما ذكر فإن أى تيار مار ويتسبب فى جعل جهد سطح المعدن أكثر إيجابية بالنسبة للوسط المحيط يؤدى إلى الإسراع فى التآكل. وعلى ذلك يستخدم جهد المنشأ / الإلكتروليت كأساس للتقييم فى الاتجاه الموجب للجهد.

١- حدود التغير فى الجهد الموجب للمنشأ / الإلكتروليت

ينطبق على جميع المنشآت عدا الصلب فى الخرسانة. ويجب ألا يتعدى التغير الموجب فى الجهد الناتج عن التداخل عند أى نقطة على المنشأ الثانوى ٢٠ مللى فولت.

٢- التغير الموجب لجهد المنشأ / الإلكتروليت

لا ينطبق المعيار السابق على الصلب المحاط كليا بالخرسانة ، فى مثل هذه الحالات يصبح الصلب سلبيا (Passive) بحيث يمنع التآكل ويكون العامل الحاكم هو تأثير الأوكسجين المدمر والمتصاعد والذى يحدث عندما يزيد جهد الصلب عن ٠,٥ فولت (موجب) مقاسا بجهد مرجع من النحاس / كبريتات النحاس. وعلى أى حال فإن سلوك الصلب يتأثر بوجود الكلوريدات والتى تمنع حدوث السلبية.

التغير فى جهد الصلب / التربة يقاس بوضع جهد المرجع فى التربة ملاصقا للخرسانة يحتاج إلى معيار ٢٠ مللى فولت.

التغيرات السالبة فى جهد المنشأ / الإلكتروليت

إذا تم إتخاذ الإحتياطيات الخاصة بمنع أو خفض التآكل نتيجة التداخل فإنه يتم غالبا تفادى التغيرات السالبة فى جهد المنشأ / الإلكتروليت. وتحدث التغيرات السالبة فى الجهد بدرجة كبيرة عندما يوجد مهد الأنودات لنظام الحماية الكاثودية ملاصقا جدا للمنشأ الثانوى ، وفيما عدا الألومنيوم (والرصاص فى المحاليل) حيث لا يحدث التآكل بزيادة جهد المنشأ / الإلكتروليت سلبيا. ويجب تلافى تأثير جهد المنشأ / الإلكتروليت الأكثر سلبا من ٢,٥٠ فولت على المنشآت المدفونة. أما فى حالة المنشآت المغمورة فإنه يتم الرجوع إلى الإحتياطيات الخاصة بالدهان.

٥-٥-٢-٤ تصميم نظم الحماية الكاثودية لخفض التآكل نتيجة التداخل

من الصعب تقدير كمية التآكل الناتج عن التداخل فى نظم الحماية الكاثودية بدقة. ويعتمد مقدار التغير فى جهد المنشأ الإلكتروليت على المنشآت الثانوية المجاورة أساسا على الآتى :

١- كفاءة طبقة الدهان على المنشأ الإبتدائى حيث أنه كلما كانت طبقة الدهان جيدة كلما قل التيار اللازم لتحقيق الحماية وبالتالى انخفض تأثير التداخل.
٢- طبقة الدهان على المنشأ الثانوى تؤدى إلى زيادة التغيرات فى الجهد الموجب على المنشأ / الإلكتروليت. ويوضح التغير الكبير فى جهد المنشأ / التربة الموجب خلال طبقة الدهان المقاومة لإمكانية الإسراع فى التآكل وتبين مواقع عيوب الدهان أو أماكن حدوثها مستقبلا.
٣- المسافة بين المنشأ الإبتدائى والثانوى حيث أن التداخل يكون كبيرا عند نقطة التقاطع أو نقط التقارب الأخرى.
٤- المسافة بين مهد الأنودات أو الأنودات والمنشأ الثانوى حيث تتأثر المنشآت القريبة من الأنودات بتدرج الجهد حول الأنود ولذلك يجب ألا توجد الأنودات أو مهد الأنودات بالقرب من المنشآت الأخرى.
٥- مقاومة التربة أو الماء مرتبطة بتدرج الجهد عند أى نقطة فى التربة والذى يساوى حاصل ضرب شدة التيار والمقاومة ولذلك يقل التداخل بوضع مهد الأنودات فى مناطق ذات مقاومة منخفضة.

١- الأنودات الجلفانية Galvanic Anodes

التيار الناتج من أنود جلفانى واحد ذى حجم متوسط فى معظم الأراضى يكون غالبا فى حدود عشرات المللى أمبير مقارنة بالتيار الناتج من وحدات التيار المدفوع حيث يكون فى حدود عشرات الأمبير. فإذا كان التيار الكلى أقل من ١٠٠ مللى أمبير ، يلغى إختبار التداخل (حتى لو زاد التيار عن ١٠٠ مللى أمبير) ويكون التآكل بعيد الاحتمال وخاصة إذا وضعت الأنودات على مسافة ٢ متر على الأقل من أى منشأ ثانوى مدفون وبحيث لا يقع المنشأ الثانوى بين الأنود والمنشأ الإبتدائى. أما إذا استخدم تيار يزيد عن ١٠٠ مللى أمبير أو وضعت مجموعة من الأنودات معا أو وضعت الأنودات بحيث يقع منشأ معدنى آخر بين الأنود والمنشأ الإبتدائى فإن ذلك يتطلب إجراء اختبار تداخل.

٢- منشآت التيار المدفوع

١- يجب أن نحافظ على جهد المنشأ / الإلكتروليت للمنشأ الابتدائى عند أقل قيمة لازمة لتحقيق الحماية.
٢- توفير طلاءات عالية الجودة لخفض تيار الحماية على المنشآت الجديدة المدفونة أو المغمورة المراد حمايتها.
٣- وضع المنشآت الجديدة بعيدة عن المنشآت المجاورة قدر الإمكان وجعل المسافات عند نقط التقاطع أكبر ما يمكن حسبما تسمح الظروف.
٤- المقاومة الطولية للمنشأ المراد حمايته كاثوديا تكون أقل ما يمكن حسبما تسمح الظروف وذلك عن طريق استخدام الربط ووصلات اللحام أو الوسائل الأخرى.
٥- وضع مهد الأنودات أبعد ما يمكن حسب ما تسمح الظروف.
٦- الاهتمام بوضع الأنودات على عمق كاف ٢٥ متر إلى ٣٠ متر.
٧- التيار الكلى المطلوب يتم توزيعه من عدد كاف من الوحدات لضمان التوزيع المنتظم بدرجة كافية لجهد المنشأ / الإلكتروليت على المنشأ الإبتدائى.

٥-٥-٢-٥ وسائل خفض التآكل الناتج عن التداخل

اختيار الطريقة

بالإضافة إلى إعادة النظر فى الاحتياطيات المتبعة أثناء تركيب منظومة الحماية الكاثودية والتأكد من أن قيمة التيار هى أقل قيمة لازمة لتوفير مستوى الحماية المقبولة، فإنه يجب الاهتمام بواحدة أو أكثر من الطرق التالية كوسيلة لخفض التآكل نتيجة التداخل على المنشأ الثانوى عند النقط التى يزيد فيها التغير الموجب عن القيم العظمى الموصى بها. وذلك بهدف إعادة جهد المنشأ / التربة للمنشأ الثانوى إلى قيمته الأصلية أو يفضل جعلها أكثر سلبا عن القيمة الأصلية. ويلاحظ أن الربط بين المنشآت يعوق إعتبارات الأمان. فإن الربط بين أبراج نقل الكهرباء مثلا وخطوط الأنابيب المحتوية على سوائل أو غازات قابلة للإشتعال يجب تجنبها حيث يفضل حينئذ أن تستخدم وسائل أخرى لإزالة تأثير التداخل.

كذلك يجب توافر الأساليب التكتيكية التالية :

١- توصيل (Joint) نظام الحماية الكاثودية حتى تتوفر الحماية الكافية لكلا المنشأتين.
٢- توصيل المنشأتين معا بواسطة رباط إصلاحى Remedial Bond أو أكثر والتى تشمل مقاومة مناسبة لتحديد قيمة التيار عند أدنى قيمة لازمة وذلك لعلاج التداخل. وهذه إحدى الوسائل المؤثرة جدا لخفض التآكل نتيجة التداخل. ويفضل توصيل الرباط الإصلاحى مع المنشأ الثانوى عند أو بالقرب من النقطة التى تكون قراءة جهد المنشأ / الإلكتروليت الموجبة عند قيمتها العظمى. ولكن إذا كانت المنشآت على مسافة كبيرة من هذه النقطة وتم تركيب ربط عند أماكن مناسبة قبل إجراء اختبارات التداخل ، يجب قياس التيار المار فى الربط بصفة دائمة.
٣- توصيل أنود جلفانى بالمنشأ الثانوى إذا كانت التغيرات الموجبة صغيرة وموضعية على مسافة متر تقريبا على جانبى النقطة التى يكون عندها المنشأتان متقاربتين.
٤- زيادة المقاومة بين المنشأتين عند النقطة التى يظهر عندها تغير موجب وذلك بوضع طبقة دهان إضافية جيدة أو التغليف على المنشأ الابتدائى و/أو الثانوى ويكون الطلاء خاليا من العيوب.
٥- عزل جزء الماسورة (فى حالة خطوط المواسير) المجاور للمنشأ الثانوى بواسطة وصلات عازلة يتم عمل كوبرى على الجزء المعزول بواسطة كابل معزول ذى حجم مناسب للمحافظة على الاستمرارية على طول خط المواسير. ويمكن أن تتم حماية الجزء المعزول بواسطة أنودات جلفانية أو توصل إحدى الوصلات العازلة على التوازى Shunted بمقاومة تكفى لحماية الماسورة بين الوصلات العازلة دون إحداث تداخل مفرط. تستخدم هذه الطريقة خاصة على الأجزاء القريبة من مهد الأنودات حيث يكون جهد المنشأ / الإلكتروليت شديد السلبية محدثا تداخلا مفرطا على المنشأ الثانوى. ويمكن تطبيق هذه الطريقة عند تقاطع الطرق حيث يوجد عدد من المنشآت الثانوية. كذلك عند تقاطع خطوط السكك الحديدية للحد من التداخل مع أجهزة الإشارات والمعدات الأخرى كما يمكن أيضا عزل جزء من الماسورة عند التقاطعات مع السكك الحديدية المكهربة للحد من تأثير التيارات الشاردة على خط المواسير.

كذلك يجب التأكد من أن الطرق التى تستلزم إمتداد الحماية الكاثودية إلى منشآت إضافية لا يتم استخدامها بطريقة تؤدى إلى تغيرات سالبة على تلك المنشآت وبالتالى تسبب تآكلا نتيجة التداخل على منشأ ثالث.

٥-٦ المراجع

الباب السادس
اختبار واختيار المواد

إن هناك العديد من الدراسات والتطبيقات لتقنيات جديدة لوصل الأجزاء والمواد المختلفة فضلا عن المزيد من المعلومات عن المواد وتكنولوجيا تسلسل الإنتاج وذلك بهدف استخدام مواد أكثر كفاءة وفعالية للحصول على منتجات ذات جودة عالية ومنخفضة التكاليف مع تشريع ضمان المنتج. وعند اختيار المواد المتاحة للاستعمال لغرض ما فإنه يوجد العديد من العوامل التى يجب مراعاتها حتى تتناسب المادة المختارة ومتطلبات التصنيع.

٦-١ تصنيف المواد

يمكن تصنيف المجال الكامل للمواد كما يلى : المعادن ، المبلمرات ، الخزفيات ، الزجاجيات والمؤتلفات (المواد المركبة).

تتكون المواد المؤتلفة من مواد يكون من بينها مكون أصلى (ضروري) من أى أثنين من الثلاثة أصناف الأولى ، على سبيل المثال هناك المبلمرات المقواة بالألياف والجدول رقم (٦-١) يوضح المقارنة بين خواص كل من المعادن والخزفيات والمبلمرات.

جدول (٦-١) مقارنة بين خواص المعادن - الخزفيات - والمبلمرات

الخاصية	المعادن	الخزفيات	المبلمرات
الكثافة (كجم/م^{٣}) x (١٠^{٣})	٢- ١٦ (متوسط ٨)	٢ – ١٧	١ – ٢ (منخفضة)
نقطة الإنصهار	منخفضة – عالية قصدير (sn) ٢٣٢ ° م تنجستون (w) ٣٤٠٠ ° م	(متوسطة) عالية ٤٠٠٠ ° م	
الصلادة	متوسطة	عالية	منخفضة
قابلية التشغيل	جيدة	ضعيفة	جيدة
مقاومة الشد (Mp_a)	حتى ٢٥٠٠	حتى ٤٠٠	حتى ١٢٠
مقاومة الضغط (Mp_a)	٢٥٠٠	حتى ٥٠٠٠	حتى ٣٥٠
معامل المرونه (Mp_a)	٤٠ – ٤٠٠	١٥٠ – ٤٥٠	٠,٠٠١ – ٣,٥٠
مقاومة الزحف عند درجات الحرارة المرتفعة	ضعيفة	ممتازة	---------
التمدد الحرارى	متوسط – عالى	ضعيف – متوسط	عالى جدا

الخاصية	المعادن	الخزفيات	المبلمرات
التوصيل الحرارى	متوسط	متوسط ولكنه غالبا ما تتناقص بسرعة مع ارتفاع درجات الحرارة	منخفض جدا
مقاومة الصدمات الحرارية	جيدة	ضعيفة بصفة عامة	---------
الخواص الكهربية	موصلات	عوازل	عوازل
المقاومة الكيميائية	منخفضة ومتوسطة	ممتازة	جيدة بصفة عامة
مقاومة التأكسد عند درجات الحرارة المرتفعة	ضعيفة ما عدا المعادن النادرة	ممتازة (SiC) وجيدة (Si_3N_4)	------

وقد تم تطوير المواد المؤتلفة لتغطى القصور فى بعض المواد الخاصة وهناك أمثلة لمواد مؤتلفة يتم استخدامها حاليا تتكون من خزفيات ، معادن ، مبلمرات ، خزفيات / ومعادن ، مبلمرات.

٦-٢ خواص المواد

يمكن تقسيم الخواص الفيزيائية للمواد إلى عدة مجموعات هى كما يلى :

١- خواص حرارية

ويقصد بها مدى قابلية المادة لإختزان الحرارة والحرارة النوعية – حرارة الإنصهار وحرارة تغير البناء البلورى - الوزن النوعى عند درجة حرارة الغرفة – التمدد الحرارى – أثر التغير الحجمى الحرارى - تأثير التشكيل على الحجم النوعى - الإشعاع الحرارى - مقاومة الصدف الحرارية والإجهادات الحرارية.

٢- خواص كهربية

ويقصد بها جودة المادة للتوصيل الكهربى من عدمه وتأثير عمليات الإنتاج على هذه الجودة أو بمعنى آخر كيفية تغير المقاومة الكهربية للمادة بسبب إجراءات الإنتاج - أيضا الخواص الثرموكهربية.

٣- خواص مغناطيسية

والمقصود منها معرفة مدى قابلية المادة للمغنطة وخصائص منحنى المغنطة والتخلف المغناطيسى لهذه المادة.

٤- الخواص الكهروكيميائية

ويقصد بها ترتيب المادة فى السلسلة الكهروكيميائية وأثر ذلك على ما يجاورها من مواد وما ينشأ من تآكل كيميائى أو كهروكيميائى على السطح أو فى أماكن معينة (مناطق لحام مثلا) ثم تنتقل لأماكن أخرى على المادة مع مرور الوقت.

٥- الخواص الضوئية

وتعنى كل ما بين المادة والضوء من علاقة من حيث الامتصاص والشفافيه – العاكسية - كذلك العلاقة بين المادة والضوء ومدى إمكانية تحويلها إلى ظاهرة كهربية وهو ما يعرف بالتأثير الفوتوفولتى.

٦- الخواص الميكانيكية

هى مجموعة الخواص التى بمقتضاها يمكن توصيف سلوك المادة عند تعرضها للقوى الخارجية.

٦-٢-١ الخواص الحرارية

الحرارة النوعية والحرارة المختزنة (الكامنة) هما الخاصتان اللتان تحددان كمية الحرارة اللازمة لصهر معدن أو سبيكة ما أو تسخينه إلى درجة حرارة معينة.

٦-٢-١-١ الحرارة المختزنة فى المعادن

إن تغير الحرارة المختزنة فى كتلة مقدارها جرام واحد من معدن ما بتغير درجة الحرارة من T_1 إلى T_2 هو $\int_{T_1}^{T_2} cp.dt$ حيث cp الحرارة النوعية للمعدن تحت ضغط ثابت. والحرارة النوعية هذه هى بالتعريف كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة الحرارة لوحدة كتلية درجة مئوية واحدة. وهذه العلاقة صالحة طالما لم يبدأ المعدن بالانصهار.

٦-٢-١-٢ حرارة الإنصهار

عند الانصهار أو التغير البلورى فإن الحرارة المختزنة سوف تزداد بمقدار ثابت وهذا المقدار يسمى بحرارة الانصهار. ويمكن تحديدها بشكل تقريبى بالعلاقة التالية : $Q = 2T$

حيث Q حرارة الانصهار و T درجة حرارة الإنصهار اعتبارا من الصفر المطلق.

٦-٢-١-٣ الكثافة والتمدد الحرارى

١- الوزن النوعى للمعادن والخلائط المعدنية

المعادن الكثيرة الاستعمال تتراوح أوزانها النوعية بين ١,٧ (الوزن النوعى للماغنسيوم) و ١٩,٣ جم/سم^3 (الذهب) ، وتلك التى يقل وزنها النوعى عن ٥ جم / سم^3 تسمى بالمعادن الخفيفة (ألومنيوم ، ماغنسيوم ، تيتانيوم ، باريليوم).

عند خلط معدنين أو أكثر فإنه نادرا ما يحدث تغير فى الحجم أى أن حجم السبيكة هو مجموع حجوم العناصر الداخلة فى تكوينها وبما أن وزن السبيكة أيضا هو مجموع أوزان مكوناتها فإن الوزن النوعى للسبيكة يتناسب مع نسبة تركيزها الحجمى ، كما أن حجمها النوعى يتناسب مع نسبة تركيزها الوزني.
فالحجم النوعى لسبيكة ثنائية

$$V_{al} = X_w \; V_A + (1 - X_w) \; V_B$$

أما الوزن النوعى فهو

$$\gamma_{al} = \frac{1}{\frac{X_w}{\gamma_A} + \frac{1 - X_w}{\gamma_B}} = X_v \cdot \gamma_A + (1 - X_v)\, \gamma_B$$

حيث
γ_A و γ_B الأوزان النوعية للمعدنين A و B .
V_A و V_B الحجوم النوعية للمعدنين A و B .
X_w النسبة الوزنية و X_v النسبة الحجمية للمعدن الأول.
$(1-X_w)$ النسبة الوزنية و $(1-X_v)$ النسبة الحجمية للمعدن الثاني.

هذه العلاقة الطردية قائمة فى حالة الخلائط غير المتجانسة والخلائط ذات المحاليل الصلبة غير أنها لا تصلح للاستعمال فى حالة السبائك ذات المركبات ، حيث أن المركب الذى ينتج عن إتحاد عنصرى السبيكة قد يكون ذا حجم نوعى أكبر أو أصغر من مجموع نسب الحجوم لعناصر السبيكة المحسوبة حسب قاعدة المزج.

٢- التمدد الحرارى للمعادن والسبائك

الحجم النوعى للمعادن والسبائك المعدنية الصلبة يزداد بارتفاع درجة حرارتها أى أن مقاييس القطعة المعدنية تزداد بارتفاع درجة الحرارة.

معامل التمدد الطولى = $\beta = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{dL}{dt}$

حيث L_0 طول القطعة الأصلى فى الدرجة صفر ، dL مقدار التمدد الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار dt .

أى أن طول القطعة فى الدرجة (t) يصبح $L_t = L_0\,(1 + \beta t)$

معامل التمدد الحجمى = $\gamma = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{dt}$

حيث V_0 هو حجم القطعة فى الدرجة صفر أى حاصل ضرب أبعادها الثلاثة.

ويصبح حجم القطعة فى الدرجة (t) هو $V_t = V_0\,(1 + 3\beta t) = V_0\,(1 + \gamma t)$

أى أن معامل التمدد الحجمى يساوى ثلاثة أضعاف معامل التمدد الخطى. والمعادلات السابقة لا تصلح إلا ضمن مجالات حرارية صغيرة (٥٠ درجة مئوية تقريبا) وذلك لأن معامل التمدد نفسه يتغير بتغير درجة الحرارة. وهذا التغير يكون

$$\beta_t = \beta_0 + a_1 t + a_2 t^2$$

حيث β_0 معامل التمدد الخطى فى الدرجة صفر و a_1 و a_2 ثابتان يتعلقان بنوع المعدن ، فإذا أخذنا هذه التغيرات بعين الاعتبار يصبح التمدد الطولى للقطعة

$$L_t - L_0 = L_0 \left(\beta_0 t + \frac{a_1}{2} t^2 + \frac{a_2}{3} t^3\right)$$

والثوابت الواردة فى العلاقات السابقة تعطى عادة بجداول بدلا من عامل التمدد الحرارى للمعدن ضمن مختلف المجالات الحرارية وذلك لتسهيل طريقة حساب التمدد ، وفى المعادن المعروفة يتراوح معامل التمدد فى الدرجة صفر بين ٤ x ١٠ ^-٦^ و ٣٠ x ١٠ ^-٦^ .

٣- التغير الحجمى للمعادن عند الإنصهار

المعدن المنصهر فى درجة حرارة الإنصهار يكون غالبا ذا حجم أكبر من حجمه وهو صلب فى نفس الدرجة أى أن العلاقة

$$\Delta V_{cr} = \frac{V_1 + V_{cr}}{V_1}$$

تكون عادة ذات إشارة موجبة حيث V_{cr} الحجم فى الحالة الصلبة (البلورية) و V_1 الحجم فى الحالة السائلة. هناك ثلاثة معادن ينقص حجمها عند الانصهار أى أن ΔV_{cr} ذات إشارة سالبة. تلك المعادن هى الغليوم والبزموت والأنتيمون.

٤- التمدد فى السبائك

إن ارتفاع درجة حرارة السبائك المعدنية أو انصهارها يرافقه أيضا تغير فى الحجم أو بالأحرى تمدد كما هى الحال فى المعادن الصافية.

ومقدار التمدد الحرارى فى السبائك يحسب فى أكثر الأحيان من معامل التمدد المحسوب من العلاقة البسيطة لقاعدة التمازج ، أى من معاملات تمدد عناصر السبيكة ونسب تلك العناصر فى تركيب السبيكة وخصوصا فى السبائك ذات البنية غير المتجانسة أى أن معامل التمدد الحرارى للسبيكة يتناسب طرديا مع إختلاف العناصر الداخلة فى تكوين هذه السبيكة :

$$\beta_{al} = \beta_A x + \beta_B (1 - x)$$

٥- نتائج التغير الحجمى الحرارى

أ- التقلص واختلاف الأبعاد

إن تلك القطع التى يتم إعطاؤها شكلها النهائى فى درجة حرارة عالية وذلك بالدرفلة الساخنة أو بالتطريق الساخن أو بالسباكة ......الخ ، إلى أن تبرد درجة الحرارة العادية لابد لها أن تتقلص. وهذا التقلص يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عند تحديد مقاييس وأبعاد القطعة المراد تشكيلها.

ب- الاجهادات والتشقق

إن الإجهادات التى تنشأ عن السباكة يكون السبب فيها عادة عدم السماح لبعض الأجزاء المسبوكة بالتقلص بشكل حر وبالمقدار الذى يحدده لها معامل تمددها الحرارى.

وإن كثيرا من السبائك الجيدة القابلة للسباكة تمر أثناء تبريدها بدرجة حرارة تصبح عندها هشه (الحديد الصلب حوالى الدرجة ٤٠٠ درجة مئوية).

عندما يصبح الإجهاد الناتج عن الفرق فى سرة التبريد أكبر من مقاومة السبيكة للشد ، فإن السبيكة سوف تبدأ بالتشقق وخصوصا فى المناطق الإنتقالية بين مقطعين أو سمكين مختلفين ، ويسمى مثل هذا التشقق بالتشقق البارد وكثيرا ما يحدث فى سبائك الحديد الصلب والألومنيوم وغيرها ، ويمكن تحاشى هذا التشقق بتخفيف الإجهادات التى تنشأ فى القطعة وذلك بجعل الفرق فى درجة الحرارة بين أجزاء القطعة المختلفة فى السمك أقل ما يمكن.

٦-٢-٢ الخواص الضوئية Optical Properties

عندما يمر ضوء خلال المادة دون أن يمتص ، فإن التفاعل المرن للإشعاع الإلكترومغناطيسى مع الشحنات الإلكترونية يسبب تعويقا أو انحناء للضوء. وبذلك تصبح سرعة الضوء وطوله الموجى أقل مما عليه فى الفراغ ، والنسبة بين سرعة الضوء فى الفراغ C وسرعة الضوء فى وسط المادة V تسمى بمعامل الانكسار n :

$$n = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V}} = \frac{\lambda_{\mathrm{vac}}}{\lambda} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

حيث أن α الزاوية المقاسة من الشعاع العمودى الداخل فى المادة ، و β الزاوية التى نفذ بها. ويرتبط معامل الانكسار للمادة مع إستقطابية ومعامل العازل لها ، وحيث أن الإستقطابية الإلكترونية يمكن أن تتغير مع اتجاه الضوء فإن معامل الانكسار يتغير مع الاتجاه البلورى ، وهذا يمكن أن يسبب ظاهرة طبيعية تسمى الانكسار المزدوج (birefringence). والجوامد المتماثلة كهربائيا فى الأبعاد الثلاثة ، مثل البلورات المكعبة ، المواد البلاستيكية المتحولة (الزجاجية) والمواد الزجاجية ، لا تظهر انكسارا مزدوجا. ويمكن أن ينتج الانكسار المزدوج فى الزجاج والمبلمرات المتحولة عن طريق إجهادها. ويسبب هذا تغيرات فى الكثافة غير المتماثلة وتعرف بالمرونة الضوئية (photoelasticity) .

٦-٢-٢-١ الامتصاص Absorption

يعتمد الامتصاص للإشعاع الإلكترومغناطيسى أيضا على مقدار تردده. ويمكن أن يقع الإمتصاص على مدى واسع من الطيف الإلكترومغناطيسى ممتدا من الأشعة الفوق بنفسجية إلى الأشعة المرئية وإلى الأشعة دون الحمراء. ويلاحظ أنه بإمكان الشعاع الساقط ذى المدى العريض من الأطوال الموجية أن يعطى قمم إمتصاص مختلفة فى الجامد ، ويعتمد ذلك على مزايا الجامد نفسه.

٦-٢-٢-٢ الشفافية Transparency

إن معظم المواد العازلة للكهرباء مواد شفافة للإشعاع المرئي. وتصبح المادة الشفافة نصف شفافة ثم معتمة إذا تبعثر الضوء على العيوب أو التراكيب الغريبة الموجودة بداخلها مثل الحدود الحبيبية ووجود بلورات مشتتة فى القالب المتحول.

٦-٢-٢-٣ العاكسية Reflectivity

تظهر سطوح الفلزات المصقولة جيدا عاكسية عالية ، ولكنها تمتص دائما مقدارا صغيرا من الإشعاع الساقط عليها ، وللحصول على سطوح لها عاكسية أفضل ، علينا تغطية هذه السطوح بطبقات متعددة من أغشية عازلة رقيقة لها معاملات انكسار متفاوتة فى المقدار ، فبعضها كبير والبعض الآخر صغير.

وهناك مثال آخر للحصول على عاكسية عالية عن طريق المواد المسحوقة جيدا. وهكذا يبلغ الانعكاس الكلى المسبب عن هذه المساحيق أكثر من ٩٩ % من الطيف المرئى ، بينما يبلغ الانعكاس الكلى الناتج عن سطح مرآة فلزية جيدة فقط ٩٠ % إلى ٩٥ % من الطيف المرئى ، ويضيع الجزء الباقى عن طريق الامتصاص .

٦-٢-٢-٤ الموصلية الضوئية Photoconductivity

إذا امتص عازل فوتونا (كما ضوئيا) ذا طاقة ينتج عنها نواقل تعطى موصلية ضوئية ، ويمكن تعريف الموصلية الضوئية بمقدار الزيادة فى الموصلية الكهربائية والتى تقع عندما تقوم الفوتونات بإثارة ونقل الإلكترونات إلى شريط التوصيل تاركة وراءها ثقوبا فى شريط التكافؤ.

كذلك إذا سقط ضوء على وصلات أشباه الموصلات pn ، فإن هذه الوصلات تملك خاصية توليد قوة دافعة كهربائية ، ويتم ذلك عندما تمتص الوصلات فوتونا يملك طاقة كافية لخلق زوج (ثقب - إلكترون) واحد. وتستطيع نواقل الشحنة هذه أن تنفصل قبل أن تلتئم ، حيث تنتشر الثقوب فى المنطقة p والإلكترونات فى المنطقة n وهذا يعرف بالتأثير الفوتوفولطى photovoltaic effect ، الذى يعتبر الأساس فى عمل العديد من الخلايا الفوتوفولطية التى تعمل على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.

٦-٢-٣ الخواص الكهربية

فى المواد الموصلة للكهرباء نميز نوعين فالموصلية من الدرجة الأولى تعنى أن التيار الكهربائى يمر بالمادة دون أن يترك أى أثر ودون أن يغير أى شئ من خواص المادة ، وهذه الناقلية تعتمد على الإلكترونات الحرة التى هى خاصية من خواص المعادن والسبائك المعدنية. أما الموصلية من الدرجة الثانية فتعنى أن توصيل التيار الكهربائى يسبب فى المادة تغيرا فى تركيب أو تركيز تلك المادة وهو الذى يتم فى المحاليل الإلكتروليتية.

وهناك علاقة وثيقة بين موصلية المعدن للتيار الكهربائى وموصليتة للحرارة ، لهذا فإن كافة الأمور التى تؤثر على موصلية موصل ما للتيار الكهربائى تؤثر أيضا على موصليتة للحرارة بنفس الشكل وبنفس المقدار.

٦-٢-٣-١ موصلية المعادن النقية لتيار كهربائى

من المعلوم أن موصلية التيار الكهربائى تزداد بإزدياد مساحة مقطع الموصل به ونقصان طوله L ، كما أن هذه الموصلية تعتمد على نوعية الموصل نفسه أو بالأحرى الموصلية النوعية للمادة المصنوع منها هذا الموصل.

ومن حيث الموصلية الكهربائية تصنف المواد إلى ثلاث فئات :

١- الموصلات الجيدة ومقاومتها النوعية أقل من $١٠^{٣}$ ميكروأوم . سم.
٢- أشباه الموصلات ومقاومتها النوعية تتراوح بين $١٠^{٣}$ و $١٠^{١٥}$ ميكروأوم. سم.
٣- المواد العازلة وهى التى تزيد مقاومتها النوعية عن $١٠^{١٥}$ ميكروأوم. سم.

٦-٢-٣-٢ تأثير الحرارة على المقاومة الكهربية

إن المقاومة النوعية التى تعطيها الجداول هى عادة المقاومة النوعية فى درجة الحرارة العادية ، غير أن الموصلات المعدنية تزداد مقاومتها بارتفاع درجة الحرارة. وتعتمد على المعامل الحرارى للمقاومة النوعية.

$$\alpha_o = \frac{1}{R_0}\frac{R_1 - R_0}{T_1 - T_0}$$

علما بأن المعامل الحرارى للمقاومة α_o . يتغير بتغير درجة الحرارة. لذلك فإن العلاقة السابقة لا تصلح إلا فى المجالات الحرارية الصغيرة أى على الأكثر حتى (١٠٠) درجة مئوية.

٦-٢-٣-٣ تأثير التشكيل والتطرية على المقاومة

إن التشكيل البارد يغير من الحجم النوعى للمعدن لهذا فإنه يؤثر على مقاومته النوعية أيضا وبنقصان الحجم النوعى تقل المقاومة النوعية.

وبالنسبة للأشرطة المسحوبة على البارد تنخفض مقاومتها النوعية من جديد عند تطريتها فى درجة حرارة معينة ولفترة زمنية محددة. حيث أنه كلما انخفضت درجة الحرارة أصبح من الضرورى زيادة فترة التسخين. فمثلا شريط من النحاس المسحوب على البارد تنخفض مقاومته إلى الحد الأدنى بتسخينه فى الدرجة ٤٥٠ درجة مئوية لمدة ثلاث دقائق.

٦-٢-٣-٤ الظواهر الثرموكهربائية

إذا وصلنا سلكين من معدنين مختلفين فى دائرة مغلقة وجعلنا فرقا فى درجة الحرارة بين نقطة الوصل الأولى والثانية ، فإن فرق جهد كهربى سوف يتولد فى هذه الدائرة ومقدار فرق الجهد يعتمد على فرق درجتى الحرارة لنهايتى السلكين حيث :

$$E = a + bT + cT^2$$

حيث أن a, b, c ثوابت تتعلق بنوع المعدنين المستعملين و T هى الفرق بين درجتى حرارة نهايتى الوصلة و E فرق الجهد الكهربى الناتج مقدرا بالمللى فولت. لهذا فإننا كثيرا ما نستفيد من هذه الخاصية فى قياس درجات الحرارة وصنع مقاييس للحرارة.

٦-٢-٤ الخواص المغناطيسية

تصنف المواد بما فيها المعادن حسب تأثير المجال المغناطيسى عليها إلى نوعين :

١- المادة الديامغناطيسية حيث تعمل على تفريق خطوط الفيض المغناطيسى ومعامل النفاذية النسبى لهذه المادة أقل من الواحد.

٢- المادة البارامغناطيسية حيث تعمل على تجميع خطوط الفيض المغناطيسي ومعامل النفاذية النسبى أكبر من الوحدة.

وأغلب المعادن ذات معامل نفاذية نسبى قريب من الوحدة وبالتالى تأثرها بالفيض المغناطيسى ضعيف وخواصها المغناطيسية غير مهمة عمليا عدا المعادن الثلاثة (الحديد والنيكل والكوبالت) فهى مواد بارامغناطيسية وتسمى بالمعادن الفرومغناطيسية.

والخواص المغناطيسية لهذه المعادن الثلاثة مثل القابلية للمغنطة ومعامل النفاذية تتأثر بكثير من العوامل مثل درجة الحرارة وشدة المجال المغناطيسى والبنية البلورية.

وبالإضـافة إلـى المعـادن الفرومغناطيسية توجد بعض السبائك الفرومغناطيسية تتكون هذه السبائك إما من معدنين مغناطيسيين أو من معدن مغناطيسى وآخر غير مغناطيسى.

٦-٢-٥ الخواص الميكانيكية للمواد

الخـواص الميكانيكية للمواد هى تلك الخواص التى لها علاقة بتأثير القوى أو الأحمال الخارجية المؤثرة على المادة الهندسية التى يلزم تعريف كلا منها بمفرده.

٦-٢-٥-١ الأحمال والإجهادات Loads and Stresses

عندما يتعرض جزء إنشائى أو جزء من ماكينة إلى حمل أو قوة خارجية تتولد فى داخله قوى مقاومة لتلك الأحمـال. وتسمى هذه القوى الداخلية بالإجهاد (σ) (Stress) وهى إما إجهاد شد Tensile أو ضغط Compressive ويرمز لها بالرمز δ أو قص Shear ويرمز لها بالرمز τ .

ويمكـن أن تقسم القـوى الخارجية إلـى قـوى إستاتيكية Static أو متكـررة Repeated (قـوى الـتعب أو الإكلال Repeated) أو قوى صدمات Impact (قوى ديناميكية).

٦-٢-٥-٢ التشكل والانفعال Deformation and Strain

إذا نـتج عـن الحمـل الخارجـى لجسم مـا تغير فـى شكله فـإن التغيـر فـى أى بعـد طولـى يسـمى تشـكلا Deformation أما الانفعال Strain فهو النسبة بين التغير فى البعد والبعد الأصلى :

$$E = \frac{\Delta L}{L}$$

٦-٢-٥-٣ المرونة واللدونة Elasticity and Plasticity

المرونة Elasticity هـى خاصية الأجسام التـى لها القدرة علـى العودة إلى شكلها وأبعادها الأصلية بعد زوال المؤثر الخارجى الذى أدى إلـى تشكلها. أما اللدونـة Plasticity فهى تلك الخاصية التـى تجعل الجسم يحتفظ بتشكله رغم زوال المؤثر الخارجى المسبب لذلك التشكل. وعليه فإن اللدونة فى تعريفها عكس المرونة وعموما فليست هناك مادة مرنة تماما أو مادة لدنة تماما.

٦-٢-٥-٤ الممطولية والقصافة Ductility and Brittleness

المواد الممطولية Ductile materials هى تلك المواد التى لها القدرة على التشكل اللدن بدرجة كبيرة إذا تعرضـت لأحمـال شد ، أما القصافة Brittleness فهى عكس الممطولية. فالمواد المتقصفة تتشكل تشكلا لدنا صغيرا عند تحميلها حتى الكسر.

٦-٢-٥-٥ منحنى الإجهاد والانفعال Stress – Strain Curve

هو منحنـى يعطـى العلاقة بين الإجهاد والانفعال ويتم رسمه بتوقيع نتائج الاختبار الذى يقاس فيه التشكل المناظر لأحمال معينة ويختلف المنحنى اختلافا بينا تبعا لنوع المادة وتحميلها.

٦-٢-٥-٦ معامل المرونة Modulus of Elasticity

معامـل المرونـة هـو قيمة الـزيادة فـى الإجهـاد مقسوما علـى الـزيادة المناظـرة فـى الانفعـال لجـزء الخـط المستقيم الابتدائى لمنحنى الإجهاد والانفعال ويرمز له بالرمز E .

$$E = \frac{\Delta \tau}{\Delta \varepsilon}$$

وفى إجهاد القص فإن معامل المرونة يسمى الجساءة Modulus of Rigidity ويرمز له بالرمز $G=\frac{\tau}{\gamma}$ حيث γ انفعال القص.

٦-٢-٥-٧ الصلابة Stiffness

هى الخاصية التى تعبر عن حدوث تشكل صغير جدا للأجسام الصلبه Solids إذا تعرضت لقوى خارجيه.

٦-٢-٥-٨ نسبة بواسون Poisson's Ratio

هى النسبة بين الانفعال العرضى (الجانبي) Lateral Strain والانفعال الطولى Longitudinal Strain ويرمز لها بالرمز μ .

$$\mu = -\frac{E_{lat}}{E_{long}}$$

٦-٢-٥-٩ المقاومة Strength

تعرف مقاومة جسم بقدرته على مقاومة الأحمال أو الإجهادات ويعبر عنها دائما بدلالة الإجهادات ، ويهتم المهندس بمعرفة قدرة المواد على مقاومة الأحمال المعرضة لها. ويتم ذلك بطرق كثيرة منها مقاومة الخضوع Yield Strength أو المقاومة القصوى Ultimate Strengths أو حد الاستمرار Endurance Limit أو حد الزحف Creep Limit .

٦-٢-٥-١٠ الكلال (التعب) Fatigue

وقد تكسر المواد المعرضة لأحمال متكررة Repeated Loads تحت تأثير إجهادات تقل كثيرا عن المقاومة القصوى لها ويسمى هذا النوع من الكسر بكسر التعب أو الكلال Fatigue Failure .

٦-٢-٥-١١ الزحف Creep

يعبر عن تشكل المادة تحت تأثير الحرارة والزمن والإجهاد الثابت بتشكل الزحف Creep . وهذه الخاصية يلزم معرفتها عند تعريض المواد إلى درجات حرارة عالية ولو أن بعض المواد تزحف فى درجات الحرارة العادية مثل الرصاص والقصدير.

٦-٢-٥-١٢ الرجوعية Resilience

الرجوعية المرنة للمادة هى كمية الطاقة الممتصة لإجهاد المادة إلى حد مقاومتها أو هى كمية الطاقة التى يمكن أن تسترجع عند إجهاد المادة إلى حد مقاومتها المرنة ثم رفع الإجهاد.

٦-٢-٥-١٣ المتانة (الجساءة) Toughness

المتانة هى خاصية تعبر عن قدرة المادة على إمتصاص الطاقة خلال تحميلها حتى الكسر وهذه الخاصية تعتمد على مقاومة المواد وممطوليتها فالمادة المتينة هى التى تقاوم التشكل الكبير تحت تأثير الإجهادات العالية والمتانة خاصية هامة فى حالة تعرض المنشآت للصدمات.

٦-٢-٥-١٤ الصلادة Hardness

صلادة المواد الجامدة تعبر عن قدرة المادة على مقاومة الخدش Scratching أو القطع Cutting أو التآكل بالاحتكاك Abrasive Wear أو عمل ندبة لدنه بها Plastic Indentation .

٦-٢-٥-١٥ الطروقية Malleability
الطروقية هى قابلية المادة على التشكل بواسطة الطرق Hammering أو الدرفلة Rolling بدون كسر وهى خاصية مشابهة للمطولية إلا أنه لا توجد علاقة مباشرة بينهما.

٦-٢-٦ الخواص الكهروكيميائية
تعتبر من الخواص المهمة للمواد وخصوصا التآكل الجلفانى. ونظرا لأهمية الموضوع فقد أفرد له فصل خاص للحماية الكاثودية (٥-٢-٢) فى هذا المجلد.

٦-٣ اختبار المواد

مقدمة
يستهدف اختبار المواد مراجعة وتحديد مواصفاتها الميكانيكية والفيزيائية ويمكن تقسيم طرق اختبار المواصفات الميكانيكية إلى :

١- اختبارات إتلافية
وفى هذا النوع من الاختبارات يتم اختبار العينة حتى تنكسر وتتلف ومن هذا كانت التسمية بالاختبار الإتلافى ولا يجوز استخدامها على عنصر من عناصر الماكينات بل يتم إجرائها على عينات.

٢- اختبارات غير إتلافية
وفى هذا النوع لا يشترط أن يجرى الاختبار على عينة سابقة التجهيز كما يمكن إجراؤه على أى جزء من أجزاء الماكينات نظرا لأن الآثار المترتبة على الاختبار لا تؤدى إلى تلف الجزء المختبر.

٣- اختبارات الكشف عن عيوب البنية الداخلية
تهتم هذه الاختبارات لمعرفة أى عيوب أو تشققات داخلية غير ظاهرة على السطح الخارجى لجزء من أجزاء الماكينات تم تصنيعه أو فى إطار تصنيعه.

٤- الاختبارات الفيزيائية
لتحديد الخواص الفيزيائية المختلفة والسابق الإشارة إليها.

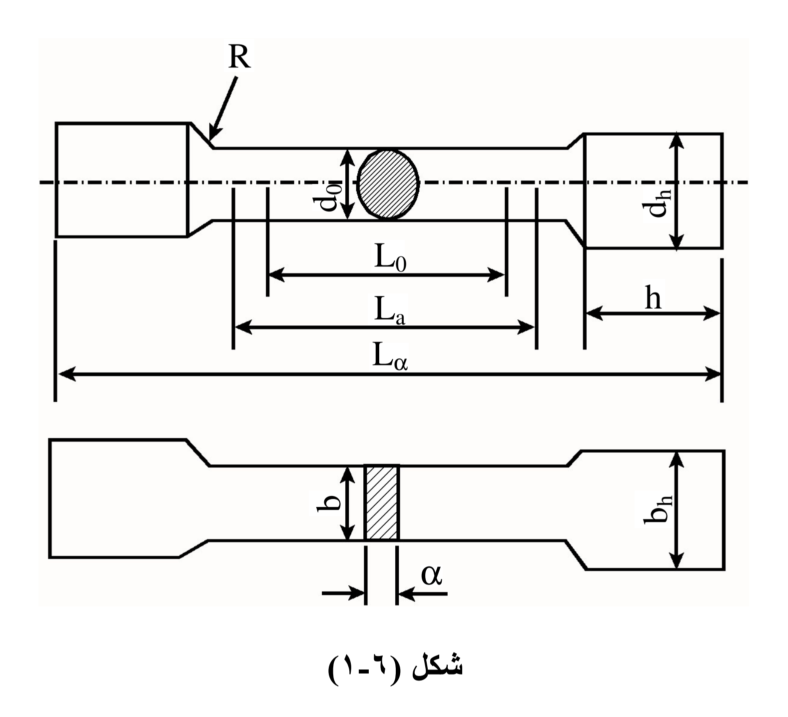
٦-٣-١ الاختبارات الإتلافية

٦-٣-١-١ اختبار الشد
يعتبر اختبار الشد من الاختبارات الهامة لتعيين الخواص العامة للمواد.

١- نوع ومقاسات عينات الاختبار
تستعمل لهذه الغاية عينات نظامية ذات أشكال ومقاييس محددة بحيث تعطى إنسجاما وتناسبا معينا بين قطر أو بعدى المقطع وبين الطول الفعال للعينة (L_0) وتصنع بحيث تكون نهايتا العينة قابلتين للتثبيت فى آله الشد المستعملة ويكون مقطع العينة إما دائريا أو مستطيلا (شكل ٦-١) وتجهز بحيث تكون النسبة بين طول القياس (L_0) والجزر التربيعى لمساحة المقطع العرضى (A_0) مساوية لقيمة ثابتة.

قطعة اختبار قصيرة $L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$

قطعة اختبار طويلة $L_0 = 11.3\sqrt{A_0}$



شكل (٦-١)

ويتم الحصول على نتائج الاختبار والخواص الميكانيكية للمعادن كما يلى :

٢- الإجهاد

هو ناتج قيمة الحمل عند أى لحظة أثناء اختبار الشد على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض لقطعة الاختبار.

٣- الانفعال

هو مقدار استطالة وحدة الطول فى طول القياس لعينة الاختبار منسوبة الى الطول الأصلى.

٤- معامل المرونة

هو قيمة الإجهاد مقسوما على الزيادة فى الانفعال المقابل له وذلك فى منطقة المرونة الممثلة بالجزء المستقيم فى المنحنى.

٥- إجهاد حد المرونة

هو أكبر إجهاد تتحمله عينة الاختبار بشرط عدم بقاء أى استطالة دائمة بعد زوال هذا الإجهاد.

٦- الخضوع

هو زيادة الاستطالة بدون زيادة فى الحمل ، أى زيادة فى الانفعال بدون زيادة فى الإجهاد.

٧- الإجهاد الأعظم للخضوع

هو أعظم إجهاد فى منطقة الخضوع.

٨- الإجهاد الأدنى للخضوع

هو أقل إجهاد فى منطقة الخضوع.

٩- إجهاد الضمان

هو الإجهاد الذى يحدث فى عينة الاختبار عند تحملها استطالة مساوية لنسبة مئوية محددة من طول القياس.

١٠- الحمل الأعظم للشد

هو أكبر حمل تتعرض له قطعة الاختبار أثناء اختبار الشد.

١١- مقاومة الشد

هو الإجهاد الأعظم لمقاومة المعدن للشد أى هى ناتج قسمة الحمل الأعظم للشد على المساحة الأصلية للمقطع العريض لعينة الاختبار.

١٢- حمل الكسر

هو الحمل المؤثر على عينة الاختبار عند الكسر.

١٣- إجهاد الكسر

هو ناتج قسمة حمل الكسر على المساحة الأصلية لمقطع عينة الاختبار.

١٤- النسبة المئوية للاستطالة

هى النسبة المئوية للاستطالة إلى طول القياس

$$\frac{\text{طول القياس بعد الكسر – طول العينة}}{\text{طول العينة}} \times ١٠٠$$

١٥- معايير الرجوعية

$$\text{معايير الرجوعية} = \frac{١}{٢} \times \text{إجهاد التناسب} \times \text{انفعال حد التناسب}$$

١٦- معامل المتانة

$$\text{معامل المتانة} = \frac{\text{المساحة الكلية تحت منحنى الحمل والاستطالة}}{\text{حجم العينة}}$$

$$= \frac{\text{الاستطالة القصوى}}{\text{حجم العينة}} \times \frac{\text{الحمل الأقصى + حمل الخضوع}}{٢}$$

٦-٣-١-٢ اختبار الضغط

١- عينات الاختبار

هناك ثلاثة أنواع لعينات الاختبار هى :

أ- العينة الطويلة حيث يكون طول العينة من ١٠ : ٨ مرات قطر العينة.
ب- العينة المتوسطة حيث يكون طول العينة = ٣ مرات قطرها.
ج- العينة القصيرة حيث يكون طول العينة = ٠,٩ قطر العينة.

وتستخدم العينة الطويلة عند إجراء اختبار الضغط بغرض رسم المنحنى البيانى للحمل والتشكيل وتعيين حد التناسب وإجهاد الخضوع للضغط بينما تستخدم العينة المتوسطة لتعيين مقاومة المعدن للضغط.

أما العينة القصيرة فتستخدم عند اختبار معادن المحامل حيث يظهر تأثير الاحتكاك الموجود عند نهايتى العينة. يتراوح طول عينات الاختبار L من ٦ إلى ٨ أضعاف عمق الكمرة أيا كان مقطعها.

٢- نتائج الاختبار

أ- رسم المنحنى البيانى للإجهاد والانفعال.
ب- تعيين المقاومة للضغط وهى الإجهاد الأقصى الذى تتكسر بعده عينة الاختبار.
ج- تعيين معيار المتانة وهو ٠,٦٦٦ من أقصى انفعال.
د- تعيين معيار المرونة وهو خارج قسمة الإجهاد (داخل منطقة المرونة) على الانفعال المناظر.
هـ- تعيين إجهاد التصميم وهو يساوى أقصى إجهاد مقسوما على معامل الأمان.
إجهاد التصميم = أقصى إجهاد / معامل الأمان.

٦-٣-١-٣ اختبار الانحناء

يعتبر اختبار الانحناء من الاختبارات الهامة لتحديد الكثير من خواص المواد فى تطبيقات عملية خاصة عند تعرضها لإجهادات انحناء خالصة أو مركبة عند دراسة انحناء الكمرات. وتتمثل نتائج اختبار الانحناء فى :

١- **العلاقة بين الحمل والانحناء.**
٢- **المقارنة المرنة فى الانحناء** - وتعرف بأقصى إجهاد فى الانحناء تعرض له العينة مناظر لأى من حمل التناسب أو حمل الخضوع وعليه يكون :

$$\sigma = M.\frac{C}{I}$$

حيث σ المقارنة المرنة.
M عزم الانحناء المناظر لأى من حد التناسب أو الخضوع
C بعد الألياف الخارجية عن محور الخمول
I عزم القصور الذاتى للمقطع

٣- الصلابة فى الانحناء

تعرف الصلابة فى الانحناء بأنها مقاومة التشكل فى الانحناء فى منطقة المرونة وتقاس هذه الخاصية بمعايير المرونة والانحناء.

٤- الرجوعية فى الانحناء

وتستخدم للمقارنـة بين المواد المختلفة وهى قيمة تقريبية من متوسط الشغل المبذول لإجهاد العينة فى الانحناء حتى حمل التناسب.

٥- المقاومة اللدنة فى الانحناء هى ما يعرف بمعايير الكسر

$$\sigma = \frac{M_u}{I} \text{ x C}$$

حيث M_u هى أكبر قيمة لعزم الانحناء وهى تستخدم فقط للمقارنة بين المواد المختلفة.

٦- الممطولية فى الانحناء

تقاس الممطولـية فـى الانحـناء (للمـواد المتقصـفة) بواسـطة أكبـر قـيمة للانحـراف عـند الكسـر وتسـتخدم للمقارنة فقط.

٧- المتانة فى الانحناء

وتقاس (للمواد المتقصفة) بمتوسط الشغل المبذول لوحدة الحجوم من المادة لكسر العينة.

٦-٣-١-٤ اختبار الالتواء

يلزم عند تصميم بعض أنواع الماكينات معرفة قيم كلا من الإجهادات والانفعالات وزاوية الانحناء التى يتعرض لها عامود الإدارة المعروف طوله إذا أثر عليه عزم الـتواء معين ، كما يلـزم معرفة توزيـع الإجهادات على مقطع العمود (المصمت أو المجوف). ويعتبر اختبار الالتواء من أهم الطرق لدراسة هذه الخواص، فضـلا عن خـواص أخرى منها مثلا المقاومة المرنـة للقص والصلابة فى الالتواء ، الرجوعية فى الالتواء ، المتانة فى الالتواء ، سواء كانت العينات ذات مقطع دائرى أو غير دائرى.

لا توجد مواصفات قياسية لشكل وأبعاد عينة الالتواء ولكنها غالبا ما تكون دائرية المقطع، مع ملاحظة أن يكون قطر هذا المقطـع أقل من قطر نهايتى العينة اللتين تركبان فى جهاز الاختبار تفاديا لحدوث الكسر عند إحدى النهايتين ، حيث يلزم لدقة نتائج الاختبار أن يكون الكسر بجسم العينة المختبرة. ويلاحظ أيضا أن يكون هناك تجاويف بكل من النهايتين لترتكز عليها عينة الاختبار.

وأهم نتائج اختبار الالتواء لبيان الخواص الميكانيكية للمعادن

١- إجهاد القص المرن لجميع المعادن

$$\tau = \frac{M_t}{W_p}$$

حيث أن $W_p = \pi \frac{d^3}{16}$

d = قطر عينة الاختبار

M_t – عزم الالتواء عند حد المرونة

W_p – عزم المقاومة القطبى عند الالتواء

٢- المقاومة المرنة لقص الالتواء

أ- المواد المتقصفة (الهشة)

$$\tau = \frac{14\,M_t}{\pi d^3}$$

حيث أن M_t - عزم الالتواء الكاسر للعينة.

ب- المواد الطرية

$$\tau = \frac{12\,M_t}{\pi d^3}$$

٣- معايير (الصلابة) المرونة من الدرجة الثانية G

يعبر المعيار (G) عن صلابة المعدن أى مقاومته للتشكيل بتأثير القص فكلما زادت قيمة G زادت صلابة المعدن حسب قانون هوك $R\frac{d}{2}$; $G = \frac{\tau\,\ell}{R\,\theta}$

وقيمة G = النسبة بين إجهاد القص وانفعال القص فى حدود المرونة ويمكن تعيين قيمة G من المعادلة :

$$\frac{\theta\,G}{L} = \frac{M_t}{Jp}$$

حيث أن L & Jp أعداد ثابتة تعبر عن طول العينة وأبعاد مقطعها كما يراعى أن توضح قيمة (θ) فى المعادلة السابقة بالتقدير الدائري.

٤- اللدونة

هى قدرة المادة على الانفعال المرن. وتقارن ممطولية المعادن باستخدام الالتواء عن طريق زاوية الالتواء (θ) ، فكلما كبرت هذه القيمة كلما كان المعدن أكثر ممطولية أى لها القدرة على التشكل (أى الالتواء الكبير) قبل الكسر ، بينما المواد المتقصفة تنكسر بتأثير الالتواء بزاوية التواء صغيرة نسبيا.

٥- الرجوعية فى الالتواء

تعين الرجوعية فى الالتواء من قيمة الطاقة التى قام بها الحمل المؤثر. الرجوعية (U) هى :

$U = \frac{1}{2} M_t\,\theta$ (فى حدود المرونة)

معيار الرجوعية = $\frac{\text{الرجوعية}}{\text{حجم العينة}} = \frac{1/2\,M_t\,\theta}{AL}$

حيث A.L حجم العينة ، L طول القياس ، A مساحة مقطع العينة

٦- المتانة فى الالتواء

وهى قيمة الالتواء المبذولة لكسر العينة المختبرة وتساوى المساحة الكلية تحت المنحنى البيانى للحمل والانفعال وتعين بطريقة دقيقة أو تقريبية من الرسم البياني. ويعين معيار المتانة فى الالتواء بقسمة المتانة على حجم العينة المختبرة.

٦-٣-١-٥ اختبار القص

تأمين إجهاد القص الصافى يتطلب التأثير على عينة الاختبار عرضيا بقوتين متقابلتين ومؤثرتين فى مستوى واحد. وسمك رؤوس القص يجب ألا تقل عن حدود معينة يحددها قطر عينة الاختبار وذلك حتى تستطيع الرؤوس تحمل القوى التى يجب استعمالها. لهذا فإن تأثير القوتين سيكون فى مستويين مختلفين. أى إنه بالإضافة لإجهادات القص فإن العينة سوف تتأثر بإجهادات انحناء أيضا حيث لا يمكن بسهولة الوصول إلى جهود القص الصافية. ويكتفى عادة باستعمال تجربة القص لاختبار عينات من الأجزاء المعرضة للقص فى ظروف مشابهة لظروف الاستعمال مثل المسامير وغيرها لتحديد مدى تحمل أو مقاومة القص لدى هذه العينات.

تجرى التجربة عادة بالقص المزدوج (شكل ٦-٢) ويتم ذلك على آلة الشد العامة حيث يثبت الرأس الحامل للقطعتين المتوازيتين على الرأس الثابت لآلة الشد ، أما اللسان المنزلق فتثبت نهايته على الرأس المتحرك للآلة ثم توضع العينة فى الثقب الذى يمتد عبر رأس القص الثلاث والذى يتناسب قطرة مع قطر العينة. وبالتأثير على اللسان المنزلق بقوة شد أو ضغط تقص العينة عند مقطعين مختلفين ، أى عند السطحين الفاصلين عند اللسان المنزلق والقطعتين الجانبيتين وتقاس خلال ذلك القوة فقط وتحسب مقاومة القص بتقسيم أكبر قيمة للقوة يصل إليها التحميل على ضعف مساحة مقطع العينة أى :

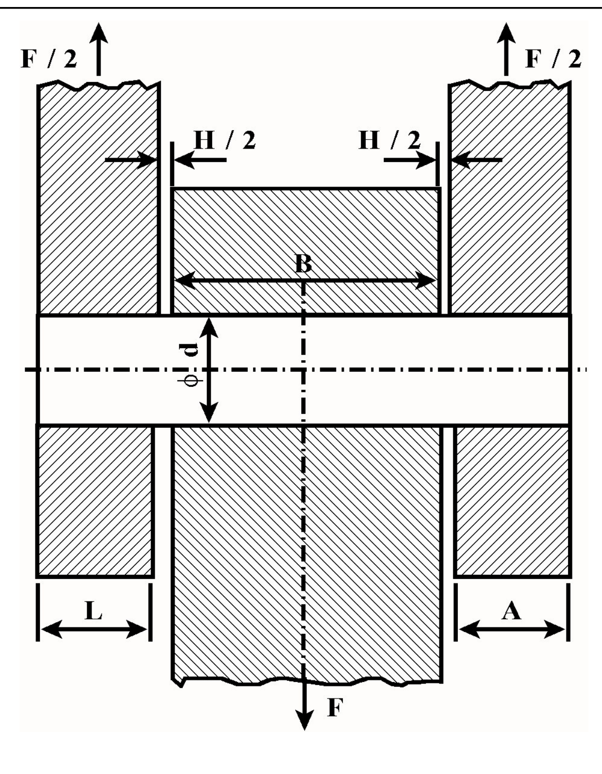
$$\tau = \frac{F_{max}}{2\frac{\pi\ d^2}{4}}$$

حيث:

F_{mx}= أكبر قيمه للقوه المقاسه

τ= مقاومة القص

d= قطر العينه تحت الأختبار



شكل (٦-٢)

٦-٣-١-٦ اختبار الصدمات Impact Test

يعتبر اختبار الصدمات وكذلك اختبار التعب من أهم الاختبارات والتى يطلق عليها الاختبارات الديناميكية. يتم هذا الاختبار بطريقة تشاربى Charpy وعلى آلة خاصة لهذا الغرض تسمى بآلة الصدمات ويتم الاختبار بهذه الطريقة على النحو التالى :
عينة الاختبار غالبا ما تكون على شكل قضيب بطول ٥٥ مم مقطعة مربع (١٠ x ١٠ مم) تحدث فى أحد وجوهه حز (خدش) عرضى بعمق يتراوح بين ٢ و ٥ مم (حسب نوع المادة المختبرة) وبعرض ٢مم ، بحيث يكون مقطع السطح الداخلى لهذا التجويف على شكل نصف دائرى أو يجعل هذا الحز ينفتح بزاوية ٤٥° وبحيث تشكل قاعدتها قوسا نصف دائريا نصف قطرة ٠,٢٥ مم وتسمى الطريقة عندئذ بطريقة إيزود (Izod) . توضع هذه العينة على الحامل الخاص بها أو الصادم الكائن عند قاعدة الآلة ، المزودة بمطرقة ذات ثقل معين G ومرفوعة إلى ارتفاع أولى h_1 ، وتترك المطرقة لتهبط بفعل ثقلها وتدور حول محور دورانها وعندما تصل إلى الوضع العمودى تصطدم أداتها القاطعة (المزودة بها رأس المطرقة) بالعينة من الوجه المقابل للوجه ذى الحز فتحنى العينة وتكسرها وتستمر بالدوران إلى الجهة الأخرى ولكن إلى ارتفاع h_2 . فالقدرة المستهلكة(الناتجه عن طاقه الوضع) تحسب من فرق هذين الارتفاعين ووزن المطرقة من العلاقة :

$$W = G (h_1 - h_2)$$

أو من طول ذراع المطرقة والزاويتين a_2, a_1 اللتين يميل بها ذراع المطرقة على الرأسى قبل سقوطها وبعد تأرجحه على الجهة الأخرى على النحو التالى :

$$W = GL (\cos a_1 - \cos a_2)$$

حيث أن القيمة المقاسة خلال التجربة هى فقط a_2 بينما القيم الأخرى فى هذه العلاقة كلها تكون معلومة. أمـا قياس a_2 فيتم قياسها بواسطة مؤشر إحتكاكى يتحرك أمام قوس مدرج ويدور مع ذراع المطرقة أثناء تأرجحه فى الشوط الأول ليتركه عند أعلى نقطة يصلها فى الجانب الآخر.

وبتقسيم الحمل الكلى المحسوب سابقا على مساحة المقطع نحصل على ما يسمى الحمل النوعى للصدمات

$$A_k = \frac{W}{A}$$

إن قيمة حمل الصدمات تكون قيمة غير ثابتة وتتعلق بعوامل كثيرة أهمها : شكل العينة وشكل الحز وقطر تحدب سطحها الداخلى وسرعة الصدمات وغيرها. لهذا فإن هذه القيمة ليست قيمة مطلقة لتميز صفة ميكانيكية معينة ومع ذلك فهى ذات قيمة عملية كبيرة إذ يستفاد منها فى عدة نواحى أهمها :

أ- المفاضلة بين مادة وأخرى لتصنيع قطعة من مادة ما يمكن أن تتعرض أثناء عملها لظروف مشابهة لظروف التجربة.

ب- اختبار مدى حساسية المادة وانخفاض قدرتها على تحمل الصدمات عند وجود حزوز أو شروخ على سطح المادة.

ج- اختبار مدى صلاحية المادة للاستعمال فى صنع قطع الآلات التى تعمل فى درجات الحرارة المنخفضة.

٦-٣-٢ الاختبارات غير الإتلافية

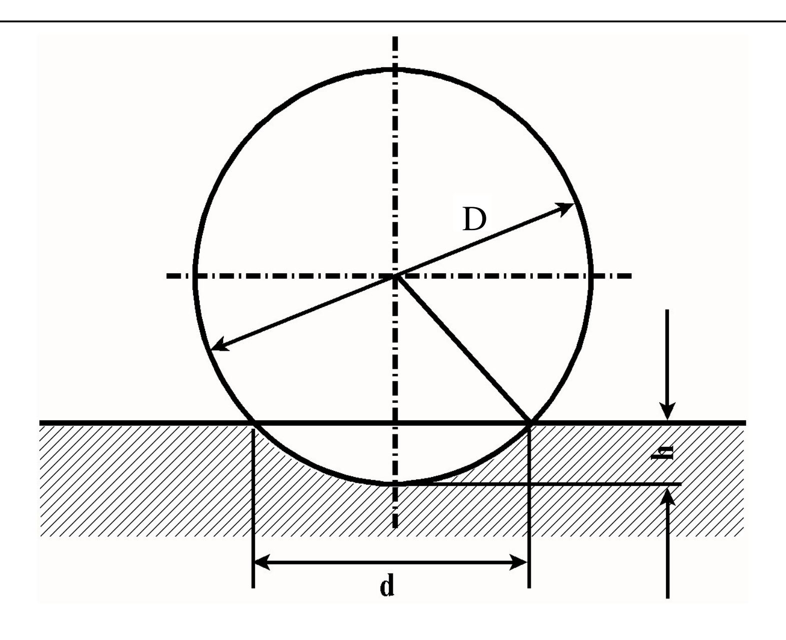
٦-٣-٢-١ اختبار الصلادة

يعد اختبار الصلادة من أهم الاختبارات الإستاتيكية للمعادن ، وذلك نظرا لسهولة إجراء هذا الاختبار ولعدم الحاجة لصنع عينات اختبار خاصة. والصلادة هى مقاومة المادة لتغلغل جسم ما مصنوع من مادة أكثر صلادة عندما يضغط هذا الجسم على سطح المادة بقوة ما.

يتم وضع الجسم القاسى فوق السطح المستوى للعينة أو القطعة المختبرة ثم يحمل بقوة معينة وبعد إزالة التحميل يقاس قطر أو أبعاد انغماس الجسم فى العينة ، ونسبة القوة المطبقة إلى سطح هذا الانغماس تعطى مقدار الصلادة رقميا. وتختلف طرق قياس الصلادة عن بعضها البعض بنوع وشكل الجسم القاسى المستعمل ومقدار القوة المطبقة على هذا الجسم ، وأهم الطرق المستعملة وعلى نطاق واسع فى قياس الصلادة هى :

١- طريقة برينل (صلادة برينل) Brinell Hardness

تستخدم فى هذه الطريقة كجسم للانغماس كرة من الفولاذ المقسى ذات قطر محدد D وتحمل بقوة معينة F . فبعد التحميل سوف تنغمس الكرة الفولاذية فى سطح القطعة المختبرة وتترك فى هذا السطح ندبة على شكل قطاع كروى عمقه h وقطر فتحته d (شكل ٦-٣).



شكل (٦-٣)

والرقم HB الذى يميز صلادة القطعة هو النسبة بين القوة المطبقة ومساحة سطح هذا التقعر ، وباعتبار السطح هو سطح قطاع كروى مساحته $A = D\,\pi\,h$ ، h عمق التقعر .

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

وبذلك

$$HB = \frac{2\,F}{\pi\,D\,(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

وأقطار الكرات المستعملة فى طريقة برينل هى (١٠) ، (٥) ، (٢,٥) مم وفى حالات خاصة نستعمل كرة قطرها (١,٢٥) أو (٠,٦٢٥) مم ، والذى يحدد قطر الكرة الواجب استعمالها من بين هذه الكرات هو سمك القطعة المراد قياس قساوتها حيث أن عمق الانغماس h يجب ألا يزيد عن ١ / ١٠ من سمك القطعة كما أن قطر فتحة التقعر d يجب أن يتراوح بين ربع ونصف قطر الكرة D والعلاقة التى تحدد عمق التقعر (h) يمكن أن تكتب على النحو التالى :

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{(\frac{D}{2})^2 - (\frac{d}{2})^2} \;= \frac{D}{2}\{1 - \sqrt{1 - (\frac{d}{D})^2}\}$$

وحيث أن قيمة d تتراوح بين 0.25 D و 0.5 D فإن عمق الانغماس يجب أن يكون $0.068\ d > h > 0.03\ D$ وسمك العينة يجب أن لا يقل عن 0.3 D .

وتحقيق الشرط المتعلق بنسبة قطر الانغماس d إلى قطر الكرة يتم بالاختيار المناسب لقوة التحميل F مع قطر الكرة المستعملة وحسب نوع مادة القطعة المقاسة ، وقد وضعت العلاقة التجريبية التالية لربط هذه العوامل بعضها ببعض :

$$F = \beta D^2$$

حيث β رقم يتعلق بنوع مادة القطعة المقاسة وتتراوح قيمة بين ٢,٥ و ٣٠ كما هو موضح فى الجدول رقم (٦-٢).

جدول رقم (٦-٢)

$\frac{N}{D\,(\text{mm})}$	$F = 2.5\,D^2$ رصاص - قصدير	$F = 5\,D^2$ ألومنيوم	$F = 10\,D^2$ سبائك نحاس وألومنيوم	$F = 20\,D^2$ السبائك الحديدية
١٠	٢٥٠٠	٥٠٠٠	١٠٠٠	٣٠٠٠٠
٥	٦٢٥	١٢٥٠	٢٥٠٠	٧٥٠٠
٢,٥	١٥٦,٢٥	٣١٢	٢٦٥	١٨٧٥

٢- طريقة فيكرز (صلابة فيكرز) Vickers Hardness

إن لطريقة برينل عددا من العيوب رغم سعة انتشارها :

أ- لا تصلح لقياس الصلادة فى القطع الكبيرة الصلادة والتى تزيد قساوتها عن ٤٠٠ كيلو بوند/مم^2.

ب- إن اختيار قطر الكرة والحمل المناسب لتحقيق النسبة بين D , d أمر يتطلب الدقة والتغيير المستمر فى الكرات والأحمال.

ولتلافى هذه العيوب قامت شركة فيكرز بتطوير طريقة برينل وإبتكار الطريقة المسماة بإسمها. وهذه الطريقة تتفق من حيث المبدأ مع طريقة برينل مع فارق واحد وهو إستبدال الكرة الفولاذية بهرم رباعى من الماس الذى هو أكثر المواد المعروفة صلادة. ولكى تكون نتائج القياس متساوية قدر الإمكان مع نتائج طريقة برينل ، فقد اختيرت الزاوية الرأسية للهرم بحيث أنه إذا اختبرت صلادة قطعة ما بطريقة برينل لتكون قيمة = $\frac{D}{d}$ كقيمة وسطية ، ثم اختبرت نفس القطعة بطريقة فيكرز وضمن شروط التحميل لنتج انغماس أو ندبة محيطها الخارجى على شكل مربع ، ولكى تكون نتائج القياس متقاربة يجب أن يكون المربع الناتج مربعا خارجيا لدائرة انغماس برينل. وانطلاقا من هذه الأسس يمكن حساب الزاوية الرأسية للهرم (١٣٦°).

وحساب صلادة فيكرز يتم بنفس الطريقة التى يتم بها حساب صلادة برينل أى بتقسيم الحمل أو القوة على سطح الانغماس (التربة).

$$HV = 18.544\,\frac{\text{F}}{\text{d}^2}\ \text{N/mm}^2$$

ولتسهيل عملية الحصول على الصلادة وضعت أيضا جداول مشابهة لجداول برينل بحيث تعطى قيمة HV بدلالة القوة المطبقة والقطر الوسطى d للندبة.

وتتراوح القوة التى يتم التحميل بها فى طريقة فيكرز بين (٠,٥ و ١٢٠) كيلو بوند ، والذى يحدد مقدار القوة اللازمة عند كل اختبار هو جهة سمك الطبقة السطحية إذا كان المطلوب هو قياس الصلادة السطحية ، بحيث لا يتجاوز عمق الانغماس سمك تلك الطبقة ومن جهة أخرى الحصول على أثر أو ندبة كبيرة وواضحة إلى حد نستطيع قياسها. لذلك تقدر القوة اللازمة عادة بما يتناسب تقريبا مع الصلادة المتوقع الحصول عليها ، والدقة فى تقدير القوة هنا ليست ضرورية لأن ذلك يؤثر على قيمة الصلادة التى نحصل عليها والتى لا يتعلق بمقدار القوة المطبقة.

إن قيمة صلادة برينل وفيكرز تتفقان رقميا بين الصفر و ٤٤٠٠ نيوتن / مليمتر مربع تقريبا ، وبعد هذا الحد تصبح طريقة برينل غير موثوقة كما ذكرنا نظرا لتأثر كرة التحميل وتشوه شكلها. يمكن تلافى هذا الخطأ باستخدام كرة من الماس فى قياس القساوات الكبيرة.

لقد دلت التجربة على أن هناك تناسبا واضحا فى سبائك الصلب الكربونى بين الصلادة ومقاومة الشد حيث :

$$\sigma \cong \frac{1}{3}\,\mathrm{HB}$$

لهذا فكثير ما يغنى قياس الصلادة عن اختبار الشد عندما تكون الدقة المطلوبة فى تقدير مقاومة الشد غير مهمة.

٣- طريقة روكويل

إن الأجهزة المستعملة فى قياس الصلادة لروكويل تشبه من حيث الشكل وطريق العمل طريقة برينل وفيكرز ، غير أن المبدأ المتبع هنا هو قياس عمق الانغماس (الندبة) فقط وعمق الانغماس هذا يتناسب عكسيا مع الصلادة لهذا فقد زودت أجهزة قياس روكويل بعدادات خاصة تعطى مباشرة أرقاما تتناسب عكسيا مع عمق الانغماس وطرديا مع صلادة القطعة المقاسة.

يستعمل كجسم للانغماس كرة فولاذية مقاسة قطرها (١,٦) مم (للقساوات الصغيرة) ، وبعد أن توضع العينة أو القطعة المراد اختبارها على طاولة الجهاز يضغط عليها الرأس الحامل للكرة أو مخروط الانغماس بقوة تحميل أولية F_0 مقدارها ١٠ كيلو بوند وذلك لضمان التلامس الصحيح مع سطح العينة. ويعد العمق الذى ينغرز إليه الجسم بعد التحميل الأولى F_0 هو بداية القياس ، ويعاير عداد القياس عندئذ بحيث يشير مؤشره إلى الرقم ١٠٠ ثم يحمل الرأس بالحمل المتمم F_L وهو ٩٠ كيلو بوند للكرة ليصبح الحمل الكلى ١٠٠ كيلو بوند ، ويتم التحميل ببطىء بمساعدة مكبس هيدروليكى صغير. بعد التحميل بالحمل الكلى هذا ينغرز عمق الانغماس إلى عمق ما t_x ، بعدئذ يرفع الحمل المتمم فيتراجع رأس عمق الانغماس إلى العمق t_o والفرق بين t_x, t_o هو المسافة e التى تتناسب عكسيا مع صلادة القطعة المقاسة.

وفى المثال المبين فى الشكل (٦-٤) فإن العداد سوف يشير إلى الرقم الذى يكمل e (فرق المسافة بين t_o, t_x) إلى المائة والرقم المكمل هذا يتناسب طرديا مع صلادة القطعة. وهذا الرقم هو رقم نسبى لا يميز بوحدة معينة ويمكن حسابه على النحو التالى :

فى حالة المخروط :

$$HRc = 100 - \frac{e\,(mm)}{0.002\,(mm)}$$

وفى حالة الكرة :

$$HRb = 130 - \frac{e\,(mm)}{0.002\,(mm)}$$

حيث أنه عند استعمال الكرة الفولاذية يوضع مؤشر العداد عند العمق t_c على الرقم ١٣٠ بدلا من الرقم ١٠٠ فى حالة المخروط.

وتمتاز طريقة روكويل بالسرعة وعدم الحاجة للحسابات أو الجداول المساعدة ولكنها أقل دقة من طريقة فيكرز ، حيث أنها تعتمد على قياس عمق الانغماس والذى هو أصغر بما لا يقل عن ١٠ مرات من قطر ندبة فيكرز.

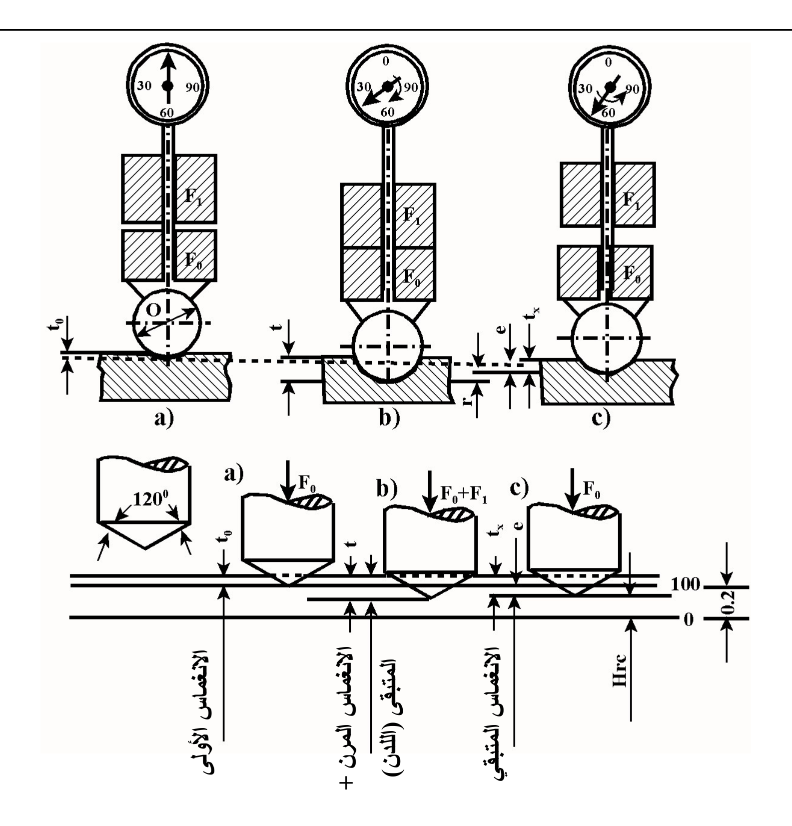
إن قيم الصلادة المقاسة بالقيم المختلفة يمكن استنتاجها من بعضها البعض بالاستعانة ببعض المخططات كالمبين بالشكل (٦-٥) أو ببعض العلاقات التقريبية مثل :

$$HV = HB \pm 50 \quad N/mm^2$$

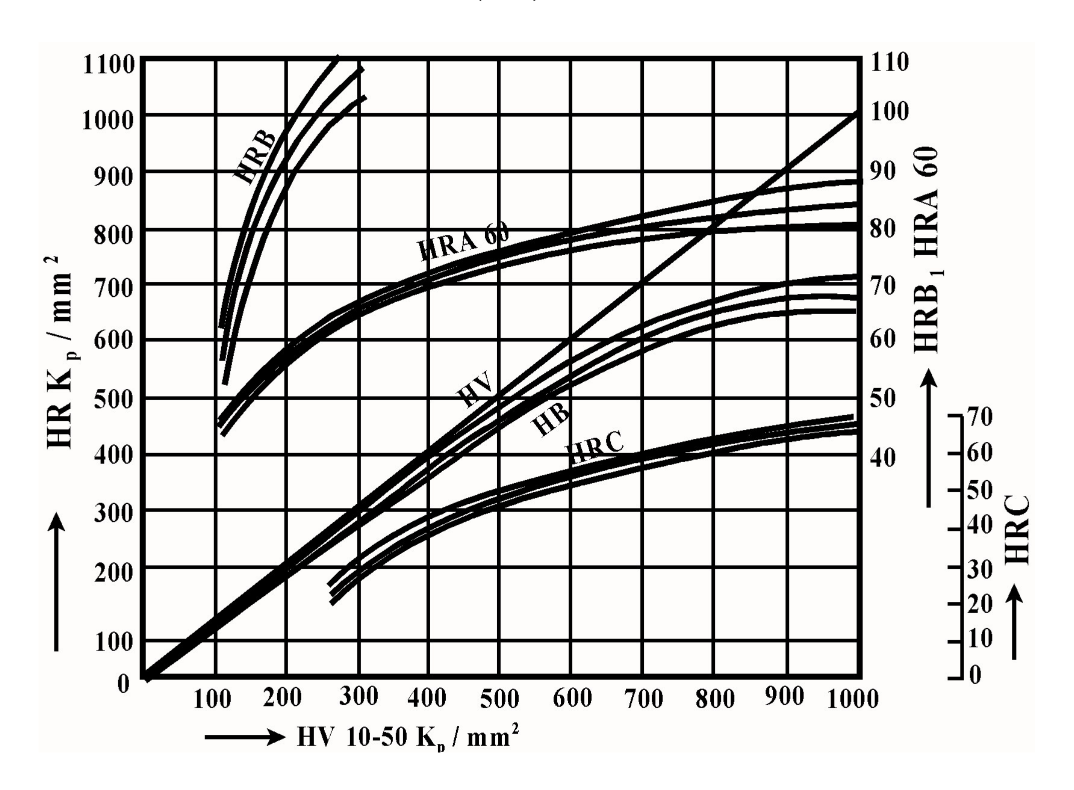
(وتصلح حتى ٥٠٠٠ نيوتن / مم^2)

$$HR_c = \frac{HB}{10} \pm 5$$

(وتصلح بين ٢٥٠٠ و ٦٠٠٠ نيوتن / مم^2)


a)
b)
c)
120°
F_0
F_0+F_1
100
0
0.2
Hrc
الانغماس الأولى
الانغماس المرن + المتبقى (اللدن)
الانغماس المتبقي

شكل (٦-٤)


HRB
HRA 60
HV
HB
HRC
HR K_p / mm²
HRB_1 HRA 60
HV 10-50 K_p / mm²

شكل (٦-٥)

٤ـ الطرق الميكانيكية لاختبار الصلادة

وهى أقل أهمية وأقل استعمالا من الطرق السابقة ويمكن تصنيفها بين فئتين :

أـ الفئة الأولى

تعتمد على مبدأ برينل حيث تكون الصلادة متناسبة عكسيا مع سطح الندبة الذى يحدثه الجسم أو تحدثه الأداة المستعملة لهذه الغاية. لذلك فإن قياس الصلادة يتم بإلقاء كرة من ارتفاع معين على سطح القطعة المراد اختبارها ثم يقاس قطر الندبة الناتجة وبعدئذ تحسب الصلادة كما هو الحال فى طريقة برينل.

ب ـ الفئة الثانية

تعتمد هذه الطريقة على أن المادة الأكثر صلادة هى الأكثر مرونة (مبدأ طريقة روكويل). لذلك فإذا ألقينا بالجسم الحامل لكرة أو أداة الانغماس من ارتفاع معين على جسم القطعة المختبرة فإن هذا الجسم سوف يرتد بفعل المرونة إلى ارتفاع يتناسب مع صلادة القطعة. فبقياس الارتفاع الذى يرتد إليه الجسم نحصل على رقم يميز صلادة القطعة.

٥ـ الاختبارات فى ظروف مغايرة للظروف العادية

وهى مجموعة الاختبارات التى تجرى لاختبار خواص المعادن فى درجات الحرارة المنخفضة أو فى درجات الحرارة الأعلى من درجات الحرارة العادية. ومن أهم الاختبارات التى تجرى فى درجات الحرارة المنخفضة هى اختبار الشد والصدمات. واختبار الشد يتم بنفس الطريقة التى يتم فيها عند درجات الحرارة العادية ، ولكن بعد تزويد آلة الاختبار بحوض تبريد خاص يحتضن العينة ويبردها إلى درجة الحرارة اللازمة أثناء عملية الاختبار. أما اختبار الصدمات فيجرى على عينات سبق تبريدها فى أحواض تبريد مستقلة.

أما الاختبارات التى تجرى فى درجات الحرارة المرتفعة فأهمها اختبارات الشد والتعب والزحف واختبار الشد والتعب يتم إجراؤهما بنفس الطرق التى سبق الإشارة إليها بعد تزويد آلات الاختبار بأفران أنبوبة خاصة تحتضن عينات الاختبار لتسخينها والمحافظة على درجة حرارتها أثناء إجراء الاختبار.

٦ـ٣ـ٢ـ٢ اختبار الزحف

إن العديد من الإنشاءات الميكانيكية وقطع الآلات تقتضى ظروف استعمالها أن تعمل فى درجات حرارة مرتفعة وبشكل مستمر ، وينتج عن ذلك أن الكسر الحاصل فى بعض هذه القطع لا تنطبق علية القوانين والعلاقات المتعلقة بالخواص الميكانيكية فى الظروف العادية. وكما نعلم فإن ارتفاع درجة الحرارة يسبب عدة ظواهر مثل إزدياد عدد الأماكن الفارغة فى الهياكل الشبكية ، سهولة تحرك الإنخلاعات ، إعادة التبلور ، تغير شكل حدود البلورات ، الذوبان فى الحالات الصلبة ، الإنفصالات الصلبة والتفاعلات الكيميائية مما يؤثر على الخواص الميكانيكية لهذه القطعة. كما أن الإجهاد الثابت يسبب انفعالا مستمرا فى القطعة وتبعا لقيمة الإجهاد ودرجة الحرارة قد تنكسر القطعة بعد فترة من الزمن يتعلق طولها وقصرها بالعاملين السابقين. وظاهرة الانفعال المستمر تحت تأثير الإجهاد الثابت تسمى بالإنسياب المستمر أو الزحف.

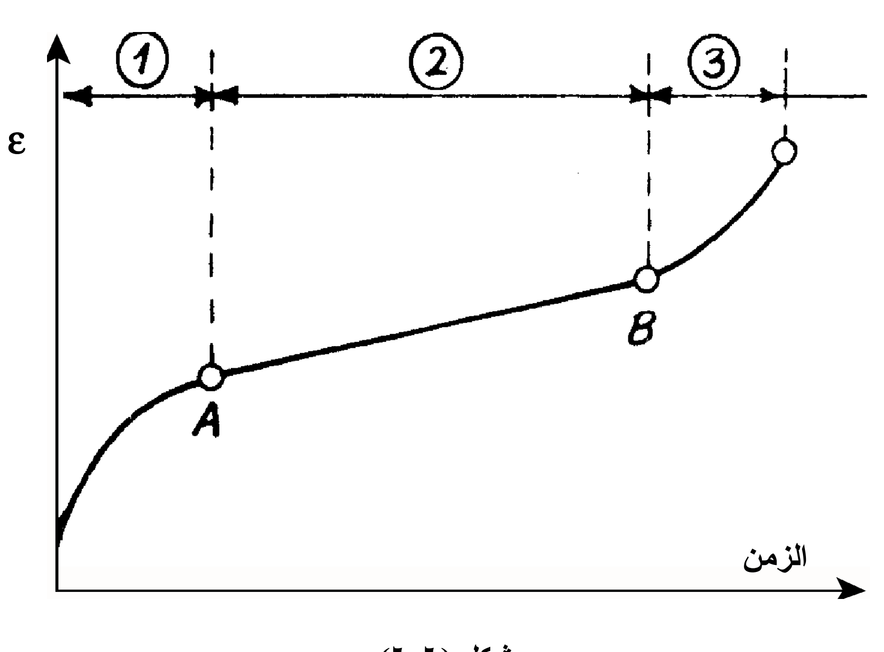
تستعمل فى تحديد خواص الزحف الوحدات القياسية التالية : الانفعال (ε) والانفعال النسبى (δ) أو المئوى ($\delta = 100\ \varepsilon$) حيث :

الزحف أو سرعة الزحف وهى الانفعال المئوى فى الساعة : $V = \frac{\Delta L}{L_t} 100$

مقاومة الزحف وهى الإجهاد الذى يؤدى إلى كسر القطعة بعد فترة محددة من الزمن يشار إليها إلى جانب رمز الإجهاد فمثلا مقاومة الزحف لمدة عشرة آلاف ساعة يرمز لها بـ ١٠٠٠٠ / σ_B .

يتم اختبار الزحف على أجهزة خاصة وبشكل مشابه لاختبار الشد غير أن التحميل هنا ميكانيكيا وذلك بتحميل إحدى نهايتى العينة بأثقال محددة ليتولد فيها إجهادات شد ثابتة. وذلك بعد تثبيت العينة على الجهاز وداخل فرن ترفع درجة حرارته إلى الدرجة المطلوبة قبل البدء بالتحميل. ويقاس فى هذا الاختبار الانفعال كدالة فى الزمن.

والشكل (٦-٦) يبين شكلا تخطيطيا نموذجيا للمنحنى الذى نحصل علية بالرسم البيانى للانفعال كدالة فى الزمن. ويلاحظ على هذا المنحنى أن هذا الانفعال يكون سريعا عند بداية التحميل ، ثم تبدأ سرعته بالتناقص حتى النقطة A حتى تثبت وتبقى ثابتة حتى النقطة B التى تبدأ عندها سرعة الانفعال فى التزايد الذى يستمر حتى تتكسر أو تنقطع العينة.



شكل (٦-٦)

وهكذا تتميز لدينا ثلاث مراحل للانفعال المرحلة الأولى التى تستمر حتى النقطة A وتسمى بمرحلة الزحف الأولى والمرحلة الثانية بين A, B وتسمى بمرحلة الزحف الثانوى أو الزحف الثابت وأخيرا مرحلة الزحف الثالث أو المتزايد.

فى المرحلة الأولى $\varepsilon = \alpha \text{ Log } t$ (ماعدا عندما t=o)

وفى حالة درجة حرارة مرتفعة إلى حد ما تكون العلاقة بين الانفعال والزمن من الشكل :

$$\varepsilon = B\ t^{1/3}$$

حيث كل من $\propto$,B ثابت يتعلق بنوع المادة ودرجة الحرارة.

المرحلة الثانية أو مرحلة الزحف الثابت تصبح معها العلاقة بين الانفعال والزمن علاقة خطية من الشكل:

$$\varepsilon = K \, . t$$

حيث K ثابت (سرعة الانفعال) يتعلق مقداره بنوع المعدن أو السبيكة المعدنية ودرجة الحرارة وذلك على النحو التالى :

$$K = a \, . \, e^{\frac{-Q}{RT}}$$

حيث Q القدرة التشطيبية أو فاعلية الظاهرة (الزحف) a ثابت ، R ثابت الغاز ، T درجة الحرارة المطلقة.

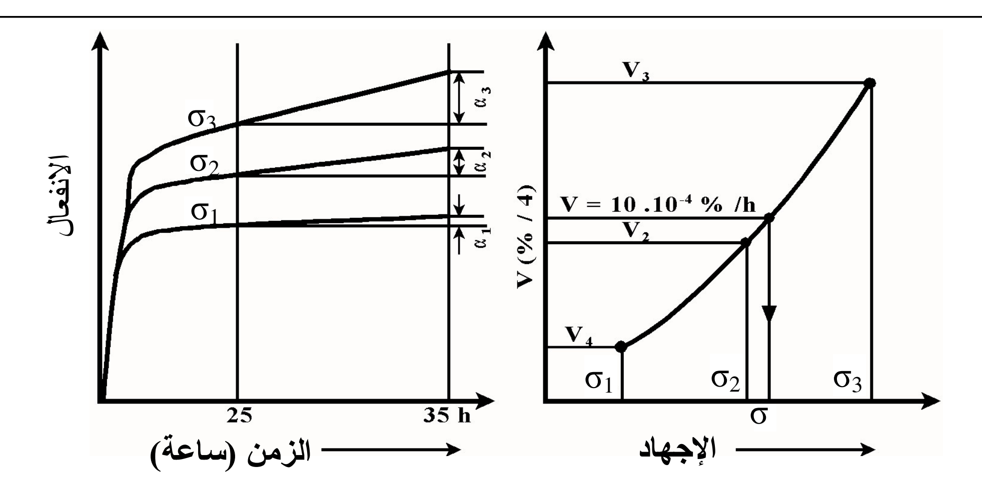
إن معرفة خواص الزحف لمادة ما ومعرفة مدى ما تتحمله من الإجهاد عند درجة حرارة معينة يتطلب اختبار عينات منها على الزحف ولفترة زمنية تقارب العمر الزمنى الذى ستعمل فيه الآلة أو القطعة المصنوعة من هذه المادة ، وهذا يعنى اختبار العينة لمدة تتراوح بين ١٠٠٠٠ و ١٠٠٠٠٠ ساعة ، أى أن بعض العينات يجب أن يستمر اختبارها لمدة تزيد عن عشر سنوات ، وهذا يشكل صعوبة كبيرة وكلفة باهظة خصوصا إذا أريد اختبار العينة تحت إجهادات متغيرة أو درجات حرارة متغيرة. لذلك فقد نشأت وتطورت طرق عديدة للاختبارات المختصرة أو القصيرة الأمد ومن أهم هذه الطرق الطريقتان التاليتان:

أ- الطريقة الأولى

يتم بالطريقة الأولى تحديد حد الزحف أى الإجهاد الذى يؤدى بعد فترة زمنية محددة إلى انفعال ذى نسبة مئوية معينة فى القطعة.

ب- الطريقة الثانية

يتم بموجبها أخذ عدد من العينات وتحميلها فى درجة واحدة وإجهادات تختلف من عينة إلى أخرى بحيث تكون كل هذه الإجهادات أكبر من حد الزحف المتوقع. ويستمر تحميل كل من العينات حتى تكسر ويسجل كل انفعال منها كدالة فى الزمن على الإحداثيات اللوغاريتمية كما فى الشكل (٦-٧). ومنه يمكن تحديد الفترة الزمنية التى يتم عندها الانفعال الذى مقداره (١ %) مثلا أو أى انفعال أخر.



شكل (٦-٧)

ج- الطريقة الثالثة

وهى طريقة حسابية أكثر منها تجريبية حيث تستخدم العلاقة التجريبية :

$$T_1 (c + \text{Log } t_1) = T_2 (c + \text{Log } t_2)$$

حيث
T – درجة الحرارة المطلقة (كالفن)
t – الزمن (ساعة)

$$c = \text{Log } a - \text{Log } \varepsilon$$

a – ثابت
ε – الزحف

حيث من هذه العلاقة توفيرا للوقت والنفقات يمكن تحديد زمن اختبار المادة (t_2) وقيمته عالية لدرجة حرارة (T_2) والتى تنتج زحفا مساويا للزحف الحادث عند درجة الحرارة العادية (T_1) فى زمن قدره (t_1) . وقيمة الثابت (c) تختار عادة (٢٠) لسبائك الصلب.

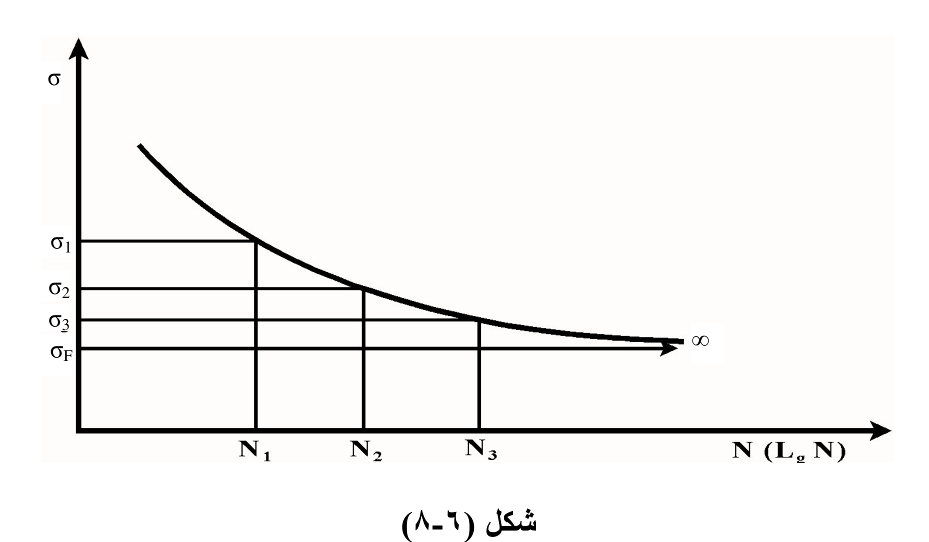
٦-٣-٢-٣ إختبار الكلال (Fatigue Tests)

إن الإجهادات التى تتعرض لها قطع الآلات والمنشآت الميكانيكية تكون متغيرة أثناء العمل فى النوع أو المقدار أو فى كليهما معا. وقد تبين أن بعض قطع الآلات المعرضة للإجهادات متغيرة المقدار غالبا ما تتكسر بعد فترة من العمل تتعلق بالحدود التى تتغير ضمنها هذه الإجهادات التى يتجاوز حد المرونة للمادة المصنوعة منها هذه القطع. وسميت هذه الظاهرة بالكلال من الإجهادات المتغيرة أو الديناميكية التى تستطيع المادة تحمله دون أن تتكسر ، وسمى هذا الإجهاد بحد الكلال أو حد الصمود لكونه الحد الفاصل بين الكلال والصمود ، فما دون هذا الحد من الإجهاد تستطيع المادة تحمله إلى اللانهاية من عدد مرات التحميل أو الإجهاد ، وما فوق هذا الحد سوف يسبب للمادة كلالا وكسرا وذلك بعد عدد من مرات التحميل يتعلق بمقدار الإجهاد.

والهدف من اختبارات الكلال هو معرفة حد الصمود للمادة المعنية وكذلك معرفة عمر القطعة المصنوعة فيما لو حملت بإجهاد ما أكبر من حد الصمود وهذه القيم يتم الحصول عليها بسهولة بإنشاء ما يسمى بمنحنى فولر للمادة.

١ـ منحنى فولر

تستخدم طريقة فولر عددا يتراوح من ٦ و ١٠ من العينات المصقولة ذات الشكل الأسطوانى وتحمل كل منها بأحمال متكررة ومختلفة بحيث يكون الإجهاد المتكرر على العينة الأولى : $\sigma_1 = 0.7\ \sigma_y$ فتتكسر هذه العينة بعد عدد من مرات التحميل يساوى N_1 ، ثم تحمل العينة الثانية بإجهاد أقل لتتكسر بعد عدد من المرات N_2 . ويستمر إنقاص الإجهاد مع العينات التالية حتى آخر عينة من المجموعة ونختار خطوات إنقاص الإجهاد على العينات المتتالية بحيث تبقى العينة الأخيرة على الأقل سليمة دون كسر، أى بحيث تصمد إزاء الإجهادات المعرضة لها ، ثم يرسم مخطط بيانى يؤخذ على محوره الرأسى الإجهاد وعلى محوره الأفقى تردد الحمل أو عدد مرات التحميل والذى يؤخذ عادة بخطوات لوغاريتمية نظرا لكبر الأرقام التى قد نحصل عليها. وتسجل على المخطط النقاط التى يتم عندها انكسار كل من العينات المختبرة كما فى الشكل (٦-٨) وبالتوصيل بين تلك النقاط نحصل على منحنى فولر. ويلاحظ أن هذا المنحنى يكون شديد الإنحدار فى بدايته ثم يقل الإنحدار حتى يتناهى إلى خط أفقي. والخط الأفقى هذا هو حجم الصمود للمادة ويقترب المنحنى من الخط الأفقى تقريبا عند $N = 2x10^6$ فى أكثر السبائك ، لذلك يعد أكبر إجهاد ممكن أن تتحمله القطعة مليونى مرة دون أن تنكسر هو حد الصمود للمادة المعينة. ومن جهة أخرى فى معرفة عمر القطعة المعرضة لإجهادات متكررة معلومة القيمة أو بالأحرى فى تصميم قطعة ما لتعيش عمرا معينا أو لتتحمل عددا معينا من مرات تكرار الحمل، عندئذ توجد قيمة N على المحور الأفقى ويرفع منها خطا رأسيا حتى يتقاطع مع المنحنى ومن تلك النقطة نرسم خطا أفقيا فنحصل على قيمة الإجهاد المسموح به.



شكل (٦-٨)

٦-٣-٣ اختبارات الكشف عن عيوب البنية الداخلية

إن الاختبارات التى تجرى للكشف عن الأخطاء أو العيوب التى يمكن أن توجد فى قطع الآلات أو المسبوكات ووصلات اللحام وغيرها كثيرة ومتنوعة وسوف نقتصر هنا على التعرف على الأسس التى تعتمد عليها أكثر هذه الاختبارات أهمية دون التعرض لتفاصيلها.

٦-٣-٣-١ الاختبارات بالأشعة السينية

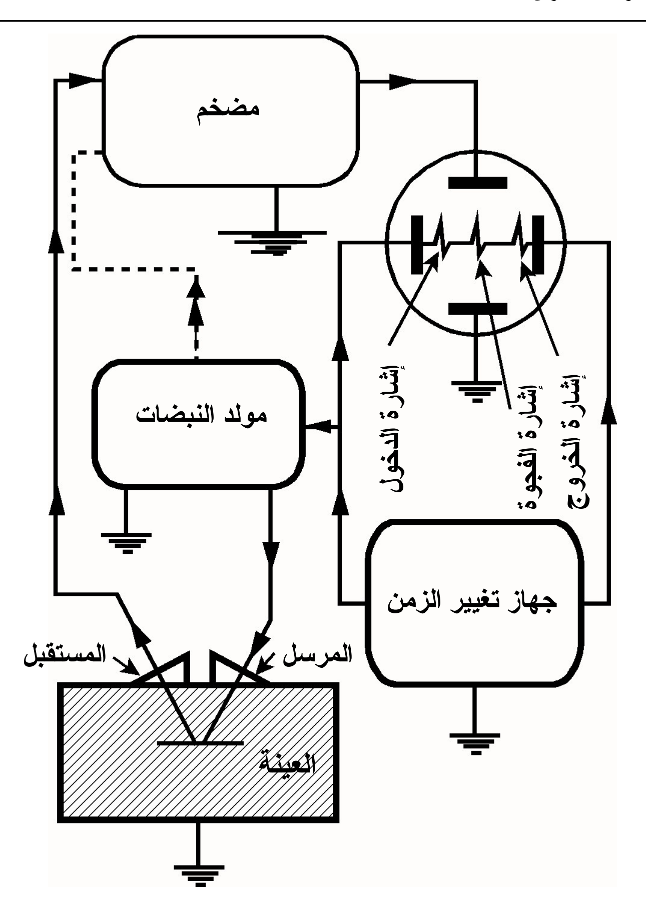
تستعمل الأشعة السينية فى الكشف عن الفقاعات والفجوات التى قد تحدث أثناء السباكة أو اللحام وخاصة فى القطع الرقيقة الجدران. فبإمرار الأشعة السينية فى القطعة المراد اختبارها والتقاط هذه الأشعة من الجانب الآخر للقطعة على فيلم أو ورق حساس ، نستطيع معرفة أماكن وجود الفجوات وأبعادها إن وجدت وبالتالى صلاحية القطعة أو عدم صلاحيتها للاستعمال.

٦-٣-٣-٢ الاختبار بالموجات فوق الصوتية

وتعد هذه الطريقة من أهم طرق كشف العيوب فى الوقت الحاضر وأكثرها استعمالا نظرا لسهولة استخدامها وقلة كلفتها وصلاحيتها للاستعمال حتى فى القطع السميكة الجدران والمبدأ فى هذه الطريقة هو التالى :

إذا أرسلنا من نقطة ما على سطح القطعة المعدنية موجات فوق صوتية عالية التردد ($١٠^{٦}$ ذبذبه/ ثانية) بشكل عمودى على هذا السطح، فإن هذه الموجات سوف ينعكس قسم منها عند اصطدامها بالسطح وينعكس قسم آخر من هذه الموجات من السطح الآخر ، أو بالأحرى عند اصطدامها بالسطح الآخر للقطعة بعد أن تكون قد اخترقت القطعة بكامل سمكها ، فلو التقطنا الموجات المنعكسة عن كل من السطحين فإن كل من التقاطهما سيكون بفارق زمنى يتناسب طرديا مع سمك القطعة أى المسافة بين السطحين وعكسيا مع سرعة انتشار الموجات خلال مادة القطعة أو العينة. فبمعرفتنا لسرعة انتشار الموجات فى مادة العينة والفارق الزمنى بين الانعكاسين نستطيع أن نحسب سمك القطعة. وفى حالة وجود فجوة أو فقاعات غازية على عمق ما من سطح القطعة فإن انعكاسا ثالثا سوف يحدث للموجات. وبالتقاط الموجات المنعكسة على سطح هذه الفجوة نستطيع تقدير عمقها حسب ما سبق.

يعاير الجهاز عند كل قياس بحيث يظهر الانحراف الناتج عن انعكاس الموجات عن السطح العلوى للقطعة عند أول شاشة الصمام والانحراف الناتج عن انعكاس هذه الموجات على السطح الخارجى للقطعة عند نهاية الشاشة فتكون المسافة بين الانحرافين متناسبة مع سمك القطعة. وعند وجود فقاعة هوائية أو فجوة داخل القطعة فإن انحرافا ثالثا سوف يظهر على الشاشة بين الانحرافين السابقين. وبعد هذا الانحراف على أى من الانحرافين السابقين سيكون متناسبا مع بعد الفجوة عن كل من سطحى القطعة كما فى الشكل (٦-٩). ويمكن تقدير بعد هذه الفجوة عن أى من السطحين ، أو بالأحرى عمقها تحت السطح العلوى للقطعة بالتناسب



شكل (٦-٩)

٦-٣-٣-٣ الاختبار المغناطيسى للشقوق

وتستعمل هذه الطريقة فى الكشف عن الشقوق السطحية للقطع المصنوعة من السبائك الفرومغناطيسية وخصوصا القطع الفولاذية. مبدأ هذه الطريقة يتلخص فى أنه إذا وضعنا قطعة من إحدى السبائك فى ساحة مغناطيسية أو تم مغنطتها ، فإنه بنتيجة التحريض ستحاول خطوط الفيض المغناطيسية أن تسير متوازية فى داخل القطعة ، وإذا اعترض طريق هذه الخطوط بعض العقبات التى تجعل طريقها مقطوعا وغير مستمر ، كوجود فجوة أو حبيبة غير قابلة للمغنطة فإن هذه الخطوط سوف تنحرف لتدور حول هذه العقبة وتتابع طريقها من جديد ، الأمر الذى سيسبب تكثفا فى خطوط الفيض المغناطيسية عند نهايتى العقبة شكل(٦-٩) وتكون لهذه الشقوق أو العقبات أهمية خاصة من وجهه نظر هذه الطريقة عندما تكون واقعة على سطح أو قريبة جدا منه. عندئذ فإن خطوط الفيض المغناطيسية المتكثفة سوف تشكل جسورا فى الهواء فوق فتحات هذه الشقوق ، فلو ذررنا فوق سطح القطعة كمية من برادة الحديد فإن مناطق تجمع أو تكثف خطوط المجال المغناطيسية سوف تعمل على تجميع برادة الحديد عندها ، وتصبح الشقوق الميكروسكوبية الصغيرة واضحة وسهلة الرؤية.

بما أن الشقوق المستقيمة والموازية لخطوط الفيض المغناطيسية لن تؤثر على سير هذه الخطوط وبالتالى فإنها لن تكون مناطق تجميع لبرادة الحديد وتبقى هذه الشقوق غير مرئية ، لذلك ومن أجل إجراء كشف لكافة الشقوق الموجودة على السطح لابد من مغنطة القطعة على مرحلتين ومن إتجاهين مختلفين بحيث تصبح الشقوق غير المرئية فى المرحلة الأولى غير مرئية فى المرحلة الثانية كما فى الشكل (٦-٩).

٦-٣-٤ الاختبارات الفيزيائية

يقصد بها جميع الاختبارات التى تتم لتحديد الصفات الفيزيائية للمادة ومن أهمها ما يلى :

١- اختبار قياس الكثافة والوزن النوعي.
٢- اختبار قياس التوصيل الحرارى ومعامل التمدد الحرارى والحرارة النوعية.
٣- اختبار قياس التوصيل الكهربى (المقاومة الكهربية).
٤- اختبار قياس درجة حرارة الانصهار.

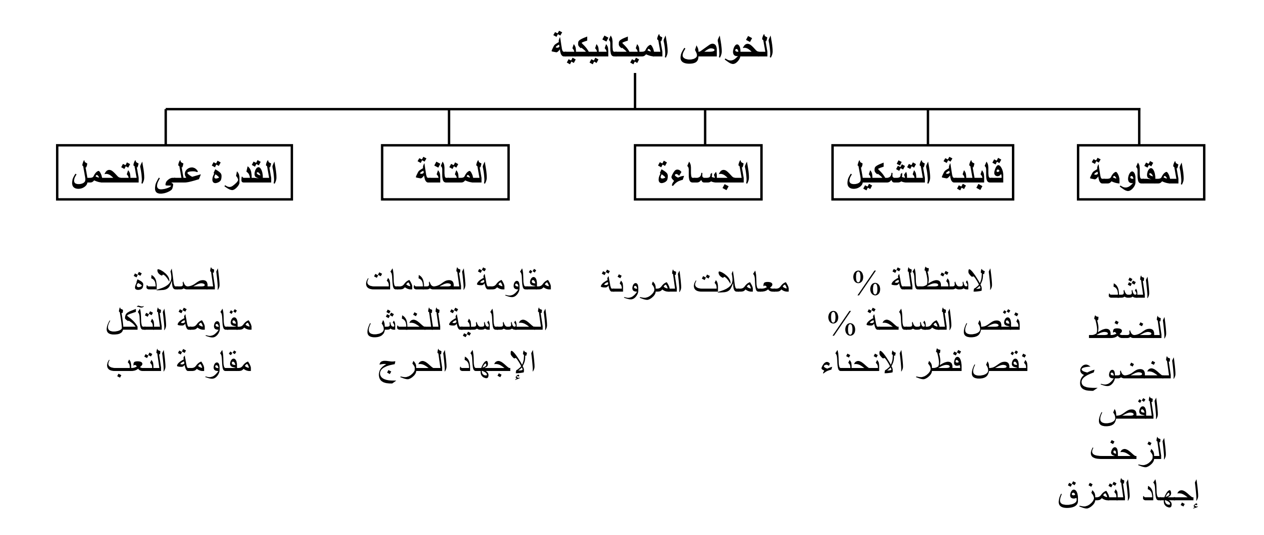
٦-٤ أسس اختيار المواد

بعد الانتهاء من الحسابات التصميمية لمنشأ ما وعند المفاضلة بين أكثر من مادة متاحة للتنفيذ ولتحقق الهدف المنشود من المنشأ ، فإن هناك عدة عوامل يجب أخذها فى الاعتبار عند المفاضلة بين هذه المواد ومن أهم هذه العوامل ما يلى :

أ- هل تحقق المادة المختارة الخصائص (الميكانيكية - الكهربية - الحرارية) الضرورية؟
ب- هل تتغير خصائص المادة بمرور زمن الخدمة؟
ج- هل تتأثر المادة بشدة الظروف المحيطة ومدى مقاومتها للصدأ والصور الأخرى للهجوم؟
د- هل المادة مقبولة من الخلفية الجمالية؟ (ذات مظهر جمالى)؟
هـ- هل تعطى المادة درجة كافية من الجودة والثقة فى الاعتماد عليها؟
و- هل يمكن تصنيع المنتج بتكلفة مقبولة؟

ومما لا شك فيه أن الخواص الميكانيكية تلعب الدور الأهم فى اختيار المواد لإنشاء عناصر الماكينات. عند التفكير فى أى آلة أو معدة أو أى وسيلة نقل قدرة أى عضو احتكاكى ، فإن ذلك يستلزم تحديد الخواص اللازمة لصلاحية الاستخدام. والشكل الموضح بعد يبين خواص صلاحية الاستخدام وارتباطها بالخواص الميكانيكية المختلفة.

عند تحويل فكرة تصميم ما إلى منتج وفى مرحلة معينة يجب اتخاذ قرارات اختيار المواد وطرق التصنيع. وهذه القرارات يجب اتخاذها فى مرحلة مبكرة قدر الإمكان حيث أن هناك العديد من العلاقات والتداخلات المعقدة بين العناصر الثلاثة ، أى المواد - التصنيع - والتصميم كما يتضح من الشكل :



١ـ المتغيرات الواجب مراعاتها

عند اختيار مادة ما لتناسب مواصفات التصميم فإن هناك العديد من المتغيرات التى يجب أخذها فى الاعتبار وهذه المتغيرات تشمل ما يلى :

أـ ميكانيكية : معامل المرونة ـ الصلابة ـ حد الخضوع ـ أقصى إجهاد ـ مقاومة التعب ـ مقاومة الزحف ـ معايير المتانة ـ الصلادة ـ الممطولية ـ مقاومة التآكل بالحبيبات.

ب- فيزيائية : الكثافة ـ التوصيل الكهربائى ـ الخواص المغناطيسية ـ التوصيل الحرارى ـ التمدد الحرارى ـ الاستقرار الحرارى.

ج- كيميائية : مقاومة الكيماويات والمحاليل ـ مقاومة التآكل الكيميائى ـ مقاومة التأكسد ـ مقاومة العوامل الجوية.

٢ـ خصائص التصنيع : القابلية للسباكة ـ قابلية التشكيل ـ قابلية التشغيل.

٣ـ التكاليف ووفرة المنتج : تكلفة المادة ـ تكلفة التصنيع ـ وفرة المنتج ـ استقرار السعر.

٢ـ خطوات اختيار المادة

عند اختيار مادة ما لتصميم معين وحتى يسهل اختيار القرار المناسب يجب تحقيق أمرين :

أـ توفير المعلومات الممكنة عن المواد المتاحة.

ب- التوقع الكامل لظروف عمل مكونات التصميم وعناصره مثل إجهادات التشغيل ـ إمكانية التحميل الزائد والظروف البيئية المحيطة . وبعد ذلك يجب الإلتزام بنظام معين لاختيار المواد المناسبة والخطوات التالية تمثل أحد هذه النظم الممكنة :

الخطوة الأولى : التحليل الكامل لمواصفات المنتج وتحديد القيم الصغرى المقبولة لجميع خواص المادة السائدة.

الخطوة الثانية : عمل الاختبار الأول بحذف جميع المواد التى لا تحقق القيم الصغرى للمواصفات والشروط المطلوبة.

الخطوة الثالثة : ترتيب درجة الأهمية للخواص المطلوبة وترتيب المواد طبقا لذلك.

الخطوة الرابعة : تقدير تكلفة الخام والتصنيع لكل مادة.

الخطوة الخامسة : طبقا لأساسيات القرار فى الخطوة الثالثة والمعلومات فى الخطوة الرابعة تتم المفاضلة لاختيار المواد التى تعطى أفضل توليفة للخواص الأقل تكلفة.

٦-٥ المراجع

الباب السابع
المعدات الميكانيكية لصيانة المجارى المائية

٧-١ مقدمة

تعتبر صيانة المجارى المائية من العمليات الدورية لتحسين أداء مرفقى الرى والصرف وتتم صيانة المجارى المائية بعمليات التطهير والتعميق والتوسيع ومقاومة الحشائش المائية بالمعدات ولكل عمل من هذه الأنشطة معدات معينة وبعض هذه المعدات تقوم بأكثر من عملية.

يبلغ الطول الكلى الحالى لشبكتى الرى والصرف باستثناء نهر النيل والترع والمصارف الخاصة حوالى ٤٧ ألف كيلومتر.

٧-٢ أعمال التطهير والتجريف الآلى

تتم أعمال التطهير بالتجريف بواسطة الكراكات بهدف تصحيح القطاعات التصميمية واستعدال الميول للمجارى المائية وكذلك لتوسيع وتعميق المجارى عند زيادة مساحات الأراضى التى تخدمها هذه المجارى.
وبعد إنشاء السد العالى وانقطاع ورود الطمى أصبحت أعمال التطهيرات واجبة للصيانة ولإزالة الترسيبات فى القاع والميول الناتجة من النحر والرواسب العالقة بالمياه والأعشاب المتحللة.

٧-٣ مقاومة الحشائش المائية فى المجارى المائية آليا

تفاقمت مشكلة الحشائش المائية فى مجارى الرى والصرف وانتشرت الحشائش بجميع أنواعها فى نهر النيل ومجارى الرى والصرف منذ عام ١٩٧٥ وبعد إنشاء السد العالى. وأهم أنواع هذه الحشائش هى الحشائش العائمة والحشائش الغاطسة وشبه الجرفية والحشائش السائدة هى :
الحشائش العائمة - ورد النيل (الهايسنت)
الحشائش الغاطسة - نخوش الحوت وديل الفرس
الحشائش شبه الغاطسة والبشنين
الحشائش الجرفية وهى الحشائش التى تنمو على ميول المجارى المائية وقد تمتد داخل المجرى مثل البردى والنسيلة والحجنة.

وقد ساعد على انتشار الحشائش المائية العوامل التالية :

أ- بعد إنشاء السد العالى وعدم ورود طمى أصبحت المياه رائقة وخالية من الطمى والعوالق وساعد ذلك على تخلل الضوء وأشعة الشمس إلى قاع المجارى المائية مما أدى إلى نمو الحشائش الغاطسة.

ب- كان الفيضان السنوى لنهر النيل يكسح أمامه جميع المياه الراكدة وما بها من حشائش عائمة وكانت سرعة التيار تقتلع الحشائش الغاطسة وشبه الغاطسة وتحملها إلى البحر مما يعتبر غسيلا لمجارى الرى والصرف ولكن لتوقف الفيضان توقفت عملية الغسيل السنوية وتكاثرت الحشائش.

ج- إن قلة إنحدار المياه فى مجارى الرى والصرف نتيجة للتحكم فى التصرفات ولإنبساط الأرض ساعد ذلك على نمو الحشائش.

د- نتيجة للتكثيف الزراعى واستعمال المخصبات والأسمدة الكيماوية وتسرب جزء منها إلى المصارف مع مياه الصرف ساعد ذلك على نمو الحشائش بالمصارف.

نتيجة لكل هذه العوامل تعاظمت مشكلة الحشائش وتضاءلت عمليات التطهير فى مجارى الرى والصرف واحتلت مقاومة الحشائش الأولوية ، يجئ بعدها عمليات التطهير لتصحيح قطاعات واستعدال ميول المجارى المائية وقد تسببت الحشائش فى الأضرار الآتية :

١- الإخلال بالكفاءة الهيدروليكية للمجارى المائية.
٢- عدم وصول المياه إلى نهايات الترع وإلى مصبات المصارف رغم إرتفاع مناسيبها فى بدايات الترع وبدء المصارف.
٣- فقدان كميات كبيرة من المياه نتيجة لعملية البخر ناتج من أوراق الحشائش العائمة خصوصا ورد النيل والبشنين والحشائش ذات الأوراق العريضة.
٤- ساعد تكاثر الحشائش على تواجد بيئة صالحة لقواقع البلهارسيا.
٥- تسبب انتشار الحشائش فى إعاقة الملاحة فى بعض المجارى الملاحية.
٦- تقليل كفاءة أداء طلمبات الصرف لعدم توافر المياه فى جهة المص وإعاقتها نتيجة تراكم الحشائش على شبك الأعشاب.

لأسباب إنسانية وصحية اقتصرت أعمال التطهيرات على المعدات الميكانيكية كما اقتصرت مقاومة الحشائش المائية على المقاومة اليدوية والمقاومة البيولوجية والمقاومة الميكانيكية. ونظرا لوجود محظورات لاستخدام المقاومة اليدوية وقصر المقاومة البيولوجية على نوعية خاصة من المجارى والتى يتعذر استخدام المقاومة الميكانيكية فيها، فإن المقاومة الميكانيكية للحشائش هى السائدة فى معظم الترع وكل المصارف.

٧-٤ المعدات التى تستخدم لأعمال التطهيرات ومقاومة الحشائش المائية

تنقسم المعدات التى تستخدم لصيانة مجارى الرى والصرف إلى معدات عائمة ومعدات برية وكل نوع ينقسم إلى معدات للتطهير ومقاومة الحشائش ومعدات لمقاومة الحشائش فقط، وكذلك حسب نوعية الحشائش وطبقا لتصنيف المجارى المائية من حيث عرض القاع وكونها مجارى ملاحية من عدمه.

٧-٤-١ المعدات العائمة للتطهير

تستخدم المعدات العائمة فى المجارى المائية التى يزيد عرض القاع فيها عن عشرة أمتار مثل نهر النيل والرياحات والترع الملاحية والمصارف الرئيسية التى يمكن إدخال الوحدات العائمة إليها والتى تسمح الكبارى ومنشآت الرى المقامة عليها بحركة ومرور هذه الوحدات. وأهم هذه الوحدات للتطهير هى الشفاطات والكباشات العائمة. والأنواع السائدة من الشفاطات :

أ- الشفاطات ذات سكينة القطع الدوار Cutter Suction Dredges وتستخدم هذه الشفاطات فى المجارى ذات التربة الطينية أو الطينية الرملية.
ب- الشفاطات التى تستخدم المياه تحت ضغط لتحريك التربة ثم يتم مصها بواسطة طلمبات التجريف Water Jet Suction Dredges . وتستخدم هذه الشفاطات فى حالة تطهير التربة الرملية المتماسكة والتى تتخللها قطع زلطية أو صخرية صلبة - كما تستخدم للتطهير بجوار قواعد الكبارى ومنشآت الرى والصرف وكذلك فى تطهير المجارى المائية المبطنة.
ج- الشفاطات ذات الاسطوانات المركب عليها زعانف مطاطية وتستخدم لتطهير المجارى المائية المبطنة.

تستخدم الكباشات العائمة لتطهير مآخذ طلمبات الرى والصرف حيث يخشى على تكسيات الجوانب والميول من سكاكين القطع.
وفى حالات كثيرة تركب ناحية المص لطلمبة التجريف سكاكين دوارة تقوم بتقطيع الحشائش وفرمها لتخرج مع خليط التجريف.

٧-٤-٢ المعدات العائمة لمقاومة الحشائش

أ- قوارب قص الحشائش Weed Mowing Boats

وتستخدم هذه القوارب لقص الحشائش الغاطسة وشبة الغاطسة فى المجارى المائية التى يصل عمق المياه فيها حتى ٢,٥ م ويتراوح عرض القاع فيها بين ١٠ م و ٣ م ونتيجة للقص فإن التيار يحمل الحشائش إلى موقع النطاقات حيث يتم رفعها إلى البر بواسطة إحدى المعدات البرية الملائمة.

وتتكون وحدة القص من ثلاثة مجموعات من السكاكين ذات حركة ترددية تدار بواسطة محرك هيدروليكى - منها مجموعة أفقية من أسفل وأثنتان رأسية وتقوم المجموعة الأفقية بقص الحشائش الغاطسة والرأسيتان بقص الحشائش التى تنمو على الميول تحت خط الماء أو فوقه بمسافة صغيرة. وفى بعض الوحدات تركب سكينة أمامية رأسية للقطع فى الحشائش العائمة لفتح مجرى للقارب. ولتحريك القارب تستخدم البدالات الجانبية أو الريش الحلزونية المزدوجة لتحريك القارب والمناورة والتوجيه. وتبلغ قوة المحرك لتشغيل أجهزة القارب بين ٢٥ - ٣٠ حصان ويتم التشغيل هيدروليكيا.

ب- وحدات جمع وقص وجمع الحشائش Weed Harvesters

وهى متعددة الأنواع ولكن مكوناتها الأساسية تتكون من صندل عائم مركب عليه سير ناقل للحشائش من الماء إلى داخل الصندل ومجموعة لقص الحشائش ووحدة رفع للحشائش العائمة من المجرى إلى داخل الصندل ، وكذلك لتفريغ حمولة الصندل من الحشائش المحصودة والمجمعة. والصندل مزود إما ببدالات جانبية أو ريش حلزونية مزدوجة للحركة والمناورة والتوجيه وعادة يكون غاطس هذه الوحدات صغير ويتراوح بين ٤٠ سم ، ١٠٠ سم فى حالة الحمولة.

وتتراوح الحمولة بين ٣٠ - ٤٠ متر مكعب من الحشائش (٢٠ - ٣٠ طن) وبعد شحن الصندل يتوجه إلى مكان التفريغ حيث يتم ذلك بواسطة جهاز التفريغ المركب على الصندل وعادة ما يكون سير ناقل أو كباش مركب على الصندل.

وتستخدم هذه الوحدات فى نهر النيل وأمام القناطر وفى الرياحات والترع الرئيسية.

ج- وحدات جمع الحشائش Weed Collecting Units

وتستخدم هذه الوحدات فى حالة وجود الحشائش العائمة فقط مثل ورد النيل ومعظم إستخداماتها فى البحيرات وأمام فتحات القناطر وأمام الكبارى وأمام النطاقات فى المجارى المائية الرئيسية.

وتتراوح قوة المحرك فى وحدات قص وجمع الحشائش ووحدات جمع الحشائش بين ٤٠ ، ٦٥ حصان وتتم الإدارة هيدروليكيا.

٧-٥ المعدات البرية للتطهير ومقاومة الحشائش

تنقسم هذه المعدات إلى الأتى :

- أ- حفارات الجر الميكانيكية Mechanical Draggling Excavators .
- ب- الحفارات الهيدروليكية Hydraulic Excavators .
- ج- الحفارات البرمائية Amphibious Excavators .
- د- الجرارات الزراعية Agriculture Tractors .
- هـ- وحدات رفع الأعشاب من أمام شباك الطلمبات Weed Screen Cleaning Units .

٧-٥-١ حفارات الجر الميكانيكية Mechanical Draggling Excavators

وتتحرك المعدة الأساسية من هذا النوع إما على كتائن من الصلب Steel Crawlers أو محمولة على شاسية بإطارات مطاطية أو على إطارات مطاطية مباشرة وذلك طبقا لظروف العمل وطبيعة التربة والحركة فى موقع العمل والتنقل بين موقع وآخر.

أ- الكتائن الصلب Steel Crawlers

وتستخدم هذه الكتائن عند تحرك وتشغيل الحفارة على أرض رخوة وإذا زادت رخاوتها فإنها تستخدم الكتائن العريضة والطويلة Long & Wide Crawlers لتقليل الضغط على التربة Ground Pressure . كما تستخدم هذه الكتائن فى حالة الحاجة إلى إتزان أكثر مثل حالة التجريف فى أرض صلبة أو زيادة قوة الشد فى سلك الرفع Hoist Rope . وتستخدم الكتائن فى حالة أن يكون المسار غير مستوى ولا يناسب إستعمال الإطارات المطاطية. كما تستخدم فى حالة التجريف المركز فى موقع واحد والتحرك فيه محدود وتكرار التنقل من موضع لآخر غير متكرر بصفة مستمرة. وعموما فإن حفارات الجر الميكانيكية ذات الحجم المتوسط والكبير والتى تستعمل فى أعمال التطهير والحفر المركز والتعميق والتوسيع تتحرك على كتائن صلب بأبعاد قياسية أو بأبعاد طويلة وعريضة.

ب- الحفارات المحمولة على شاسية بإطارات مطاطية

يركب الجزء الدوار بمشتملاته وقاعدته على شاسية بإطارات مطاطية وله محرك خاص للحركة والسفر كما أن الجزء الدوار له محرك للتشغيل كحفارة.

وفى حالة التشغيل يرتكز الشاسية على أذرع جانبية بروافع Out Riggers لتكون قواعد للوحدة ككل وتحقيق الإتزان وعدم الهزات أثناء التشغيل.

ج- الحفارات ذا ت الإطارات المطاطية

ويركب فى هذه الحفارات إطارات مطاطية بدلا من الكتائن المعدنية مع تعديل الجزء السفلى من المعدة لهذا الغرض ويتم تحريك المعدة بواسطة محرك الحفارة وتستعمل كلا الحالتين ب ، ج فى ظروف العمل الآتية :

١- الحاجة إلى التنقل السريع بين مواقع العمل.
٢- الحاجة إلى سرعة نقل الوحدة من موقع لآخر أو للسفر إلى مسافات طويلة حيث أن السرعة تتراوح بين ١ إلى ٧٥ كيلومتر فى الساعة فى ب ، وتتراوح بين ١ إلى ٣٠ كيلومتر فى الساعة فى ج .
٣- فى حالة أن يكون مسار الوحدة صلب ومستوى أو مرصوف.
٤- فى حالة أن لا تسمح الأنظمة باستخدام الكتائن الصلب إما لإتلافها المسار أو أن القوانين السائدة تمنع استعمالها.
٥- فى حالة أن يكون الموقع الذى تعمل به الوحدة أو طبيعة المسار تضر بالكتائن المعدنية وتتسبب فى سرعة تآكلها.

د- ذراع الحفارات الميكانيكية للتجريف ومقاومة الحشائش ميكانيكيا

يتكون ذراع الحفارات الميكانيكية من جزئين رئيسيين الأسفل وهو الذى يتصل بالجزء الدوار Revolving Frame بواسطة عدد إثنين بنز لهما تأمين ، والعلوى وهو الذى يركب فى نهايته العليا سلك الرفع أو بكارات الونش فى حالة التشغيل كونش. وهذين الجزئين يكونان الذراع القياسى للحفارة (Standard Boom) ، وفى حالة الحاجة إلى ذراع أطول طبقا لظروف واحتياجات التشغيل يركب جزء أوسط بين الجزئين الرئيسيين وفيما يلى جدول يوضح أطوال الذراع القياسى بالقدم وسعة القادوس التى تستخدم معها.

سعة القادوس بالـــــيـاردة المكعبة	٣/٨	١/٢	٣/٤	١	١ ١/٤	١ ١/٢	٢	٢ ١/٢	٣	٣ ١/٢	٤	٥
طـول الـذراع بالقدم	٢٥/ ٣٥/	٣٠/ ٤٠/	٣٥/ ٥٠/	٤٠/ ٥٥/	٤٥/ ٥٥/	٥٠/ ٧٠/	٥٠/ ٩٠/	٦٠/ ١٠٠/	٦٠/ ١١٠/	٦٠/ ١١٠/	٧٠/ ١٢٠/	٧٠/ ١٣٠/

هـ- الزاوية المناسبة للتشغيل

إن أحسن زاوية لتشغيل الحفارة فى التطهيرات ومقاومة الحشائش سواء أثناء التجريف أو جمع الحشائش العائمة تتراوح بين ٣٥ درجة إلى ٦٠ درجة .

و- أنواع قواديس التطهير وجمع الحشائش

تتنوع قواديس التطهير طبقا لطبيعة التربة وتماسكها فالتربة الصلبة المتماسكة تستعمل لتطهيرها القواديس الثقيلة والتربة العادية التماسك يستعمل لتطهيرها القواديس متوسطة الوزن والتربة الخفيفة الغير متماسكة أو ضعيفة التماسك يستعمل لتطهيرها القواديس الخفيفة. وفى حالة الحفارة لجمع الحشائش فتستعمل القواديس المخرومة وذات السعة الكبيرة لصغر كثافة الحشائش عن كثافة التربة وللاستفادة بكامل الوزن الذى تستخدم الحفارة لرفعة.

كما تستخدم قواديس التطهير لإزالة الحشائش الغاطسة الجرفية والعائمة أثناء عملية التطهيرات.

٧-٥-٢ الحفارات الهيدروليكية Hydraulic Excavators

ساعد التقدم فى استخدام القوى الهيدروليكية على استخدامها لإدارة وتشغيل الحفارات وتختص الحفارات الهيدروليكية بالمميزات الآتية :

١- سرعة الدوران وقصر دورة التشغيل.
٢- الدقة فى التحكم وفى الأداء وتحسين مستوى الأداء.
٣- زيادة الكفاءة العامة للحفارات.
٤- ارتفاع الإنتاجية.

ويهمنا من الأغراض المتعددة التى تستخدم فيها الحفارات الهيدروليكية استخدامها لأغراض تطهير المجارى المائية ومقاومة الحشائش بها.

تتحرك الحفارة الهيدروليكية إما على كتائن صلب أو الجزء العلوى منها محمولا على شاسية بإطارات مطاطية أو على إطارات مطاطية بدلا من الكتائن. وفى حالة استعمال الإطارات المطاطية يزود الشاسية أو الحفارات بأذرع ارتكاز لتحقيق الاتزان أثناء التشغيل ولعدم الارتكاز على الإطارات المطاطية.

تدار جميع الحركات اللازمة للحفارات بواسطة محركات هيدروليكية منفصلة فى التشغيل والتحكم ولذلك فإن التشغيل والحركة بالحفارات الهيدروليكية أدق وأسرع.

فى العمل على التربة الرخوة تستعمل الكتائن الطويلة والعريضة كما فى الحفارات السلكية وغالبا ما تكون هذه الكتائن مزودة ببروزات سفلية لمنع انزلاق الكتائن على التربة اللزجة أو الرخوة (Grousers) .

أ- ذراع التطهير ومقاومة الحشائش بالحفارات الهيدروليكية

يتكون ذراع الحفارات الهيدروليكية من جزئين - الجزء الأساسى Basic Boom والثانى الجزء العلوى المتحرك Dip Stick وهو الجزء الذى يركب به قادوس التطهير أو قادوس قص وجمع الحشائش.

والجزئين يتحركان فى المستوى الرأسى بواسطة السلندرات الهيدروليكية بين جسم الحفارة والوصلة السفلى للذراع وبين الجزء العلوى والوصلة السفلى للذراع. كما يتحرك القادوس بالنسبة للوصلة العليا بواسطة سلندر هيدروليكى فى حركة مفصلية. وفى حالة تشغيل قادوس قص الحشائش فإن الحركة الترددية لسكاكين القص يتم بواسطة محرك هيدروليكى مركب على الجزء العلوى للقادوس عند إتصاله مع الجزء العلوى للذراع. ويتم التحكم فى تشغيل السلندرات ومحرك سكاكين القص بواسطة البلوف الموجودة بحجرة القيادة.

وفى حالة تشغيل الحفارة لقص وجمع الحشائش تكون الوصلة العلوية من الذراع Dip Stick أطول من الوصلة التى تستعمل فى حالة التطهير أو التجريف وذلك لقلة كثافة الحشائش وعدم الحفر بواسطة القادوس.

ب- قواديس التطهير وقواديس قص وجمع الحشائش

يستعمل مع الحفارة الهيدروليكية أنواع متعددة من القواديس ففى حالة التجريف فى الأرض الصلبة يستعمل قادوس عميق وضيق وفى حالة تجريف تربة صخرية يكون القادوس أضيق ومزود بأسنان تغير كلما تآكلت وحالة إستخدام الحفارة للتحميل فإنها تستعمل قادوس مناسب لنوع التربة التى تحملها. هذا بخلاف وسائل الحفر والتحميل المختلفة التى تستخدم مع هذه الحفارات. ويهمنا من هذه النوعيات المختلفة من وسائل التحميل والحفر والتجريف قادوس التطهيرات وقادوس قص وجمع الحشائش.

ج- قادوس التطهير

يكون قادوس التطهير عريض وبدون أسنان لتطهير التربة الغير متماسكة وفى حالة تطهير التربة المتماسكة يركب به أسنان تساعد مع حافة القطع على خلخلة التربة. ويعتمد تشغيل قادوس التطهير على القوة الهيدروليكية التى تضغط عليه من سلندر الجزء العلوى من الذراع والتى تحرك القادوس للتعبئة والتفريغ.

د- قادوس قص وجمع الحشائش

يكون هذا القادوس أعرض من قادوس التطهير ومخرم لتصفية الماء والروبة كما أنه مزود عند حافة القطع بسكاكين صلب ذات حركة ترددية لقص الحشائش الغاطسة بالقاع والجرفية على الميول. كما تستعمل القواديس بدون تشغيل سكاكين القطع لجمع الحشائش العائمة.

٧-٥-٣ الحفارات البرمائية Amphibious Excavators

وتكون هذه الحفارات إما ميكانيكية أو هيدروليكية وتستخدم للتطهير وإزالة الحشائش من المجارى المائية والبحيرات والمستنقعات الضحلة وتمتاز بأن ضغطها على التربة بسيط جدا كما يمكنها التحرك فى الماء بفضل العائمات الجانبية والكتائن المركبة حولها والتى تعمل كبدالات لتحريك المعدة.

٧-٥-٤ الجرارات الزراعية Agriculture Tractors

وهذه الجرارات تتحرك على كتائن معدنية أو إطارات مطاطية وهى مزودة بالأجهزة الهيدروليكية للتشغيل الهيدروليكى ويركب ذراع التطهير أو قص وجمع الحشائش على جانب الجرار وتقابله فى الجانب الآخر ثقل التوازن كما أن الجرار يزود بأذرع التحميل ليرتكز عليها الجرار أثناء التشغيل.

وتستخدم الجرارات الزراعية بملحقاتها لتطهير المجارى المائية ذات العرض الصغير وإزالة الحشائش منها - كما أنها تستخدم لقص الحشائش الجرفية التى تنمو على الميول بواسطة ذراع مفصلى حامل لسكاكين ترددية للقص والحش. وفى بعض الحالات تكون الأجهزة الهيدروليكية مقطورة خلف الجرار وموصلة به بواسطة أجهزة التطهير وقص الحشائش المقطورة خلفه.

٧-٥-٥ وحدات رفع الأعشاب من أمام شباك الطلمبات
Weed Screen Cleaning Units

نظرا للمشاكل الناجمة عن تراكم الحشائش المائية أمام شبك الأعشاب بمجارى وحدة الطلمبات نتيجة لتسرب بعضها من النطاقات المركبة قبل أحواض وحدة الطلمبات ، لذلك تستخدم ماكينات نظافة الحشائش والمخلفات التى تتراكم أمام شبك الأعشاب لرفع هذه الأعشاب والمخلفات من أحواض السحب ومن على شبك الأعشاب.

أنواع ماكينات نظافة شبكات الأعشاب

أ- الاسطوانة الدوارة Rotary Drum Screen .
ب- المسننات الأمامية Front Racked Machine .
ج- المسننات الخلفية Back Racked Machine .
د- قادوس الرفع المسنن Toothed Grab Machine .
هـ- ماكينات متحركة لنظافة شبك الأعشاب Mobile Weed Screen Machine Cleaner .

تقوم هذه الماكينات جميعها برفع الأعشاب المتراكمة على الشبك وتفريغها على سير متحرك لنقلها إلى خارج المحطة. ويتراوح عرض هذه الماكينات طبقا لعرض شبكات الأعشاب من ١ متر إلى ٥ أمتار. وتدار هذه الماكينات كهربائيا من تغذية المحطة الكهربائية.

٧-٥-٦ جداول أداء الحفارات الميكانيكية

جدول رقم (٧-١) الإنتاجية التقريبية للحفارات الميكانيكية بالياردة المكعبة فى الساعة طبقا لنوعية التربة وسعة القادوس

سعة القادوس بالياردة المكعبة / نوعية التربة	١	١ ١/٤	١ ١/٢	١ ٣/٤	٢	٢ ١/٢	٣	٣ ١/٢	٤	٥
طمى خفيف رطب	١٦٠	١٩٥	٢٢٠	٢٤٥	٢٦٥	٣٠٥	٣٥٠	٣٩٠	٤٦٥	٥٤٠
رمل أو زلط	١٥٥	١٨٥	٢١٠	٢٣٥	٢٥٥	٢٩٥	٣٤٠	٣٨٠	٤٥٥	٥٣٠
تربة عادية	١٣٥	١٦٥	١٩٠	٢١٠	٢٣٠	٢٦٥	٣٠٥	٣٤٠	٣٧٥	٤٤٥
طمى جاف متماسك	١١٠	١٣٥	١٦٠	١٨٠	١٩٥	٢٣٠	٢٧٠	٣٠٥	٣٤٠	٤١٠
طمى رطب متماسك	٧٥	٩٥	١١٠	١٣٠	١٤٥	١٧٥	٢١٠	٢٤٠	٢٧٠	٣٣٠

١- الإنتاجية الموضحة عالية مقاسه فى موقع التربة قبل التجريف In Bank Measure .
٢- تتأثر هذه الإنتاجية بظروف التشغيل والحالة الجوية ومهارة عامل الحفارة وزاوية الدوران.
٣- واحد ياردة مكعبة = ٠,٧٧٦ متر مكعب = ٧٧٦ لتر

جدول رقم (٧-٢) وزن قادوس الحفارة الميكانيكية وهو فارغ حسب سعته

السعة بالياردة المكعبة	٣/٤	٧/٨	١	١ ١/٤	١ ١/٢	١ ٣/٤	٢	٢ ١/٢
السعة باللتر	٥٧٥	٦٧٠	٧٦٦	٩٦٠	١١٥٠	١٣٥٠	١٥٣٠	١٩١٠
الوزن بالرطل	١٦٥٠	١٨٠٠	٢١٠٠	٢٣٠٠	٢٩٠٠	٣٣٠٠	٤٢٥٠	٤٧٠٠
الوزن بالكيلوجرام	٧٥٠	٨١٥	٩٥٠	١٠٤٠	١٣١٥	١٤٩٥	١٩٢٥	٢١٣٠

جدول رقم (٧-٣) تأثير عمق الحفر وزاوية الدوران على إنتاجية الحفارات الميكانيكية

النسبة المئوية لأحسن ظروف عمق الحفر	زاوية الدوران بالدرجات							
	٣٠°	٤٥°	٦٠°	٧٥°	٩٠°	١٢٠°	١٥٠°	١٨٠°
٢٠ %	١,٠٦	٠,٩٩	٠,٩٤	٠,٩٠	٠,٨٧	٠,٨١	٠,٧٥	٠,٧٠
٤٠ %	١,١٧	١,٠٨	١,٠٢	٠,٩٧	٠,٩٣	٠,٨٥	٠,٧٨	٠,٧٢
٦٠ %	١,٢٤	١,١٣	١,٠٦	١,٠١	٠,٩٧	٠,٨٨	٠,٨٠	٠,٧٤
٨٠ %	١,٢٩	١,١٧	١,٠٩	١,٠٤	٠,٩٩	٠,٩٠	٠,٨٢	٠,٧٦
١٠٠ %	١,٣٢	١,١٩	١,١١	١,٠٥	١,٠٠	٠,٩١	٠,٨٣	٠,٧٧
١٢٠ %	١,٢٩	١,١٧	١,٠٩	١,٠٣	٠,٩٨٥	٠,٩٠	٠,٨٢	٠,٧٦
١٤٠ %	١,٢٥	١,١٤	١,٠٦	١,٠٠	٠,٩٦	٠,٨٨	٠,٨١	٠,٧٥
١٦٠ %	١,٢٠	١,١٠	١,٠٢	٠,٩٧	٠,٩٣	٠,٨٥	٠,٧٩	٠,٧٣
١٨٠ %	١,١٥	١,٠٥	٠,٩٨	٠,٩٤	٠,٩٠	٠,٨٢	٠,٧٦	٠,٧١
٢٠٠ %	١,١٠	١,٠٠	٠,٩٤	٠,٩٠	٠,٨٧	٠,٧٩	٠,٧٣	٠,٦٩

من الجدول عاليه وطبقا لظروف التشغيل السائدة فإن عمق الحفر ١٠٠ % وزاوية الدوران ٩٠° .

جدول رقم (٧-٤) وزن التربة ووزن قادوس الحفارة الميكانيكية شاملا حمولته من التربة حسب نوعيتها

نوع التربة	سعة القادوس باللتر	٦٠٠	٧٠٠	٨٠٠	٩٦٠	١١٥٠	١٣٥٠	١٥٣٠	١٩١٠
	وزن التربة كجم/متر^3	وزن القادوس ومحتوياته من التربة بالكيلوجرام							
تربة رخوة	١٤٩٠	١٦٠٠	١٧٨٥	٢٠٨٥	٢٤٦٠	٣٠١٥	٣٤٨٠	٤١٩٥	٤٩٦٥
رمل جاف	١٦٠٠	١٦٦٥	١٨٦٥	٢١٧٥	٢٥٧٥	٣١٥٠	٣٦٤٠	٤٣٧٥	٥١٩٠
رمل مبلل	١٩٦٠	١٨٧٠	٢١٠٠	٢٤٥٠	٢٩١٥	٣٥٦٠	٤١١٥	٤٩٢٠	٥٨٧٥
زلط	١٧٢٠	١٧٣٥	١٩٤٥	٢٢٧٠	٢٦٨٥	٣٢٩٠	٣٧٩٥	٤٥٦٠	٥٤٢٠
كسر حجارة	١٦٠٠	١٦٦٥	١٨٦٥	٢١٧٥	٢٥٧٥	٣١٥٠	٣٦٤٠	٤٣٧٥	٥١٩٠
طمى مبلل	١٧٨٠	١٧٧٠	١٩٨٥	٢٣١٥	٢٧٤٥	٣٣٥٥	٣٨٧٥	٤٦٥٠	٥٥٣٥
فحم	٨٠٠	١٢٠٥	١٣٣٠	١٥٦٥	١٨٠٥	٢٢٣٠	٢٥٦٥	٣١٥٠	٣٦٦٠

٧-٥-٧ جداول أداء الحفارات الهيدروليكية

جدول رقم (٧-٥) الإنتاجية التقريبية للحفارات الهيدروليكية بالمتر المكعب فى الساعة طبقا لنوعية التربة وسعة القادوس مع الأخذ فى الإعتبار أن فترة التشغيل للإنتاج فى الساعة ٥٠ دقيقة وأن كفاءة التشغيل ٨٣ % وعمق الحفر ٤,٥ متر وزاوية الدوران ٦٠ درجة وأن القادوس مشون Heaped Capacity

سعة القادوس بالمتر المكعب / نوعية التربة	٠,٧٦	١,٠٠	١,٤٠	١,٩٠	٢,٣٠	٢,٦٥	٣
طينية رملية	٧٥ م^3	١٠٠ م^3	١٤٥ م^3	١٩٥ م^3	٢٤٥ م^3	٢٩٥ م^3	٣٤٠ م^3
رمل وزلط	٧٢	٩٠	١٣٨	١٨٠	٢٣٠	٢٨٠	٣٢٥
تربة عادية	٦٥	٨٢	١٢٥	١٧٠	٢١٠	٢٥٠	٢٩٥
طمى ناشف متماسك	٥٧	٧٦	١١٠	١٥٠	١٨٨	٢٢٥	٢٦٥
صخور منسوفة جيدا	٥٣	٦٨	١٠٥	١٤٠	١٨٠	٢١٥	-----

سعة القادوس بالمتر المكعب نوعية التربة	٠,٧٦	١,٠٠	١,٤٠	١,٩٠	٢,٣٠	٢,٦٥	٣
تجريف عادى نظافة موقع	٥٠	٦٥	١٠٠	١٣٠	١٦٨	٢٠٠	-----
طمى رطب متماسك	٤٥	٦٠	٩٥	١٢٥	١٦٠	١٩٥	-----
صخور ضعيفة النسف	-----	-----	٨٠	١٣٨	١٣٨	١٦٥	-----

جدول رقم (٧-٦) المعاملات التى تؤثر على إنتاجية الحفارات الهيدروليكية

أ- معامل عمق الحفر ومعامل زاوية الدوران

معامل تأثير عمق الحفر			معامل تأثير زاوية الدوران	
أقصى عمق بالمتر	العمق المتوسط بالمتر	معامل تأثر الإنتاجية	زاوية الدوران	معامل تأثر الإنتاجية
١,٥	٠,٧٥	٠,٩٧	٤٥ درجة	١,٠٥
٣,٠	١,٥٠	١,١٥	٦٠ درجة	١,٠٠
٤,٥	٢,٢٠	١,٠٠	٧٥ درجة	٠,٩٣
٦,٠	٣,٠٠	٠,٩٥	٩٠ درجة	٠,٨٦
٧,٦	٣,٨٠	٠,٨٥	١٢٠ درجة	٠,٧٦
٩,١	٤,٥٠	٠,٧٥	١٨٠ درجة	٠,٦١

جدول رقم (٧-٧)

معامل التحميل		معامل كفاءة الأداء			
ظروف التحميل	معامل التحميل	كفاءة الأداء	فترة التشغيل فى الساعة بالدقيقة	كفاءة الأداء كنسبة مئوية من ٦٠ دقيقة	معامل الأداء
حفر سهل	٠,٩٠ - ١,٠٠	ممتازة	٥٥ دقيقة	٩٢ %	١,١٠
حفر عادى	٠,٨٠ - ٠,٩٠	متوسطة	٥٠ دقيقة	٨٣ %	١,٠٠
حفر صلب متوسط	٠,٦٥ - ٠,٧٥	أقل من المتوسط	٤٥ دقيقة	٧٥ %	٠,٩٠
حفر صلب	٠,٤٠ - ٠,٦٥	ضعيفة	٤٠ دقيقة	٦٧ %	٠,٨٠٧

٧-٦ دورة التطهير ومقاومة الحشائش

نظرا لانقطاع ورود الطمى واقتصار الترسيبات فى المجارى المائية على التربة المنقولة من موقع بالمجرى إلى موقع آخر وترسيبات الحشائش المتحللة ومخلفات الصرف الصحى فى المصارف فإن دورة التطهير تتم كل ثلاثة سنوات لتصحيح القطاعات واستغلال الميول وإزالة الترسيبات من قاع المجارى وتسوية المساطيح.

أما بشأن مقاومة الحشائش المائية فإن ازدهارها يبدأ من أوائل شهر مارس من كل عام وتبلغ أقصى نمو وكثافة لها خلال أشهر يونيو ويوليو وأغسطس وهى أشهر أقصى الاحتياجات المائية للدورة الزراعية ، كذلك فإن مقاومة الحشائش تكون سنوية وتبدأ من شهر يونيو.

٧-٧ قواعد عامة للحفاظ على المجارى المائية

يجب الحفاظ على سلامة قطاعات المجارى المائية بين حدايد نزع الملكية أو فى حرم المجرى فلا يسمح بالمخالفات الآتية :

أ- شغل المسطحات بالتشوينات أو زراعتها خفية أو استغلالها لغير غرض سير معدات التطهير والصيانة البرية عليها.

ب- عدم إلقاء مخلفات الصرف الصحى بالمجارى المائية.

ج- الحفاظ على الطرق المؤدية إلى المجارى المائية لتيسير وصول المعدات إليها.

د- عدم إلقاء الحشائش على الميول أو المسطحات وإبعادها عن المجرى.

الباب الثامن
معدات الرى المتطور

٨-١ تقديم عام

الغرض من طرق الرى الحديثة هو رفع كفاءة نظام الرى وتقليل الفاقد فى المياه نتيجة التسرب والعوامل الجوية المحيطة وتسهيل عملية الصيانة وهذه الطرق عامة تعطى التصرف الأمثل، ويراعى اختيار الطريقة المناسبة حسب الموقع ونوع المصدر والاحتياجات المائية للمحصول ونوعية المياه.

٨-٢ خطوط الرى ذات الضغط المنخفض (مواسير الرى الحقلى)

٨-٢-١ نقل المياه بالمواسير

يتم نقل مياه الرى إما بالتثاقل أو بضغط منخفض (آبار مثلا) تستخدم مواسير من البلاستيك لنقل المياه إلى الحقول نظرا لخفة وزنها وقلة التكاليف بالإضافة إلى أنه يمكن دفنها فى باطن الأرض والاستفادة بزراعة الأرض فوقها كما أن نظام دفن المواسير يجعلها أكثر حساءة كما أن نظام نقل المياه بالمواسير نظام آمن حيث لا يتيح للأطفال استخدامها لغير الأغراض المخصصة لها وكذلك إلقاء المخلفات والحيوانات النافقة. ونظام نقل المياه بالمواسير غير مرغوب فى حالة ما إذا كان مصدر المياه يحتوى على كمية كبيرة من الطمى الذى يترسب داخل المواسير ويلتصق بالجدران ويقلل مساحة مقطع السريان. ويمكن تقسيم مواسير الرى الحقلى إلى ثلاث أنواع هى :

١- خطوط مواسير متحركة على سطح الأرض بالكامل

وفى هذا النظام يدخل الماء من أحد الأطراف ويخرج إلى الحقل من فتحة الخروج أو من خلال بوابات على طول خط الطرد.

٢- خطوط مواسير سطحية متحركة وجزء منها مدفون تحت سطح الأرض

وفى هذا النظام يتم خلاله نقل الماء من المصدر إلى الحقل عن طريق الجزء المدفون من الماسورة ثم يدخل الماء إلى ماسورة سطحية من خلال مأخذ أو أكثر.

٣- خطوط مواسير مدفونة بالكامل

وهذا النظام لا تستخدم فيه مواسير الرى الحقلى ولكن يتم دفع الماء من حوض الرى إلى أجزاء الحقل عن طريق مواسير مدفونة تحت سطح الأرض وعند وضع مواصفات نظام الرى المستخدم يجب الأخذ فى الاعتبار النقاط الآتية :

- أ- يجب أن يكون وضع المواسير من مصدر المياه إلى الحقل بحيث ألا تعوق حركة المرور على الطرق المحيطة بالحقل أو عمليات الزراعة.
- ب- يجب تصميم شبكة مواسير الرى بأقل أطوال ممكنة لإمداد جميع الحقول بالمياه.
- ج- يجب وضع المواسير بالخنادق بعناية حتى يسهل دفنها. عمق الخندق ٨٠ - ١٠٠ سم (للخطوط الرئيسية) ومن ٥٠ - ٧٠ سم (للخطوط الفرعية).
- د- يجب وضع فتحات استنزاف الهواء فى النقاط العالية على طول الخط وبأقل عدد ممكن.
- هـ- يجب أن يكون قطر المواسير كافى لتوصيل الماء إلى الحقول وللوفاء بالاحتياجات المائية للمحصول.
- و- يجب اختيار قطر مواسير الرى بعناية للحصول على أحسن تشغيل اقتصادى (عند الأخذ فى الاعتبار التكاليف المبدئية وتكاليف التشغيل).

٨-٢-٢ حساب الفقد فى الضغط نتيجة الاحتكاك بالمواسير

يمكن حساب الفقد فى الضغط نتيجة الاحتكاك فى خط المواسير باستخدام العلاقة معادلة Hazen-Williams الآتية :

$$h_f = 1.22 \times 10^{10} \times L \, (Q / C)^{1.852} \, . \, D^{-4.87} \qquad (8\text{-}1)$$

حيث

Q التصرف خلال خط المواسير (لتر / ث)

h_f الفقد فى الرفع نتيجة الاحتكاك (متر)

D القطر الداخلى للماسورة (مم)

L طول خط المواسير (متر)

C معامل يعتمد على خصائص المادة التى تصنع منها المواسير

= ١٢٠ للمواسير الحديد والألومنيوم

= ١٤٠ للمواسير الأسمنتية والأسبستوس

= ١٥٠ للمواسير البلاستيك

٨-٢-٣ حساب الفقد فى الضغط أو الرفع خلال الوصلات والمحابس

ويتم حساب الفقد الكلى فى الخط بإضافة الفقد فى الرفع خلال السريان فى المحابس والوصلات إلى الفقد فى الرفع نتيجة الاحتكاك داخل المواسير. ولحساب الفقد فى الوصلات أو المحابس يجب معرفة معامل الفقد فى كل حالة والذى يعبر عنه (K) (معامل الفقد المحلى خلال الوصلة أو المحبس) وعلى ذلك يمكن حساب الفقد باستخدام العلاقة :

$$H_\ell = K \frac{V^2}{2g}$$

حيث

V السرعة المتوسطة للسريان (m/sec)

g عجلة الجاذبية (m/sec^2)

وتتوقف قيمة K على نوع ومادة الصمام ومعدل التصرف والأبعاد الهندسية وكذلك بالنسبة للوصلات.

٨-٢-٤ نظام مواسير الرى الحقلى السطحية ذات الضغط المنخفض

تصنع مواسير الرى الحقلى ذات الضغط المنخفض (آبار) من الألومنيوم أو البلاستيك أو المطاط وجميعها يمكن استخدامها لنقل المياه أو توصيلها إلى مخارج ببوابات أو محابس لتوزيعها على الحقول وعادة ما تكون المواسير الألومنيوم بأطوال ٩ أو ٦ م أما بالنسبة للمواسير البلاستيك فتصنع بأطوال ٦ م لمواسير PVC وأطوال من ٥٠ - ٢٠٠ م للخراطيم المصنوعة من PE حسب قطر الخرطوم و١٥ متر للخراطيم الكاوتشوك المبططة ذات أقطار من ١٠٠ - ٣٠٠ مم وعند استخدام نظام مواسير الرى السطحية يأخذ فى الاعتبار النقاط الآتية :

١- يجب فتح محابس التحكم فى الخطوط السطحية بعناية وذلك لملء الخط ببطيء قبل الوصول إلى الضغط الكامل.

٢- يجب فتح محابس التصريف المركبه على نهاية خط المواسير حتى يتم خروج الهواء والرواسب بالمواسير المكونه للخط وذلك عند الملء . كما يجب فتح بوابات التوزيع عند التأكد من وصول الماء إليها.

٣- يراعى تفادى ضغوط المطرقه الهيدروليكية (Water hammer) والتى تحدث عند القفل السريع لأحد الصمامات على خط الطرد أو انقطاع التيار الكهربى أو أنقطاع الحركه عن المضخة. ويمكن وضع ماسورة رأسية بالقرب من مخرج المضخة وبقطر لا يقل عن نصف قطر ماسورة السريان حتى يمكن تلافى هذه الضغوط التى قد تؤدى إلى فصل الوصلات أو انفجار وتشوه خط المواسير.
٤- يراعى عند نقل المواسير رفعها من الطرفين.
٥- يجب وضع صمام عدم رجوع بالقرب من مخرج المضخة لحمايتها من السريان العكسى فى حالة توقف المضخة.
٦- يراعى فى حالة وجود نقط مرتفعة على طول خط المواسير عمل وسيلة مناسبة لاستنزاف الهواء من هذه النقط.
٧- يراعى وضع مصدات خرسانية فى نهاية الخط المدفون وعند التفريعات لمقاومة تحرك المواسير أو انفصال الوصلات.

٨-٢-٥ نظام مواسير الرى الحلقى المدفونة ذات الضغط المنخفض

٨-٢-٥-١ مواسير البلاستيك

تستخدم المواسير البلاستيكية (PVC, PE and ABS) فى الرى عادة لخفة وزنها وسهولة تداولها كوسيلة لنقل مياه الرى وتنتج المواسير الـ PVC بأحد التصنيفات العامة الآتية :

أ- النوع الأول (PIP) تصنيف مواسير الرى البلاستيك

وهذا التصنيف استحدث خصيصا لاستخدامات الرى بأقطار تصميميه مناسبة لذلك والأقطار الداخلية لهذا النظام أقل من نظيراتها فى نظام (IPS) ذات نفس القطر الاسمى. لذلك فإن تلك المواسير تقل فى معدلات تصرفها بنسبة تتراوح من ١٨ % لقطر ١٠٠ مم إلى ٨ % لقطر ٣٠٠ مم مقارنة لنظيرتها التى تتبع نظام (IPS) .

ب- النوع الثانى (IPS) تصنيف المواسير الحديد

وفى هذا التصنيف تصنع مواسير بأقطار خارجية مطابقة للمواسير الحديد أو الصلب من نفس القطر الاسـمى. والجدول رقم (٨-١) يوضح الفقد فى الرفع (متر / ١٠٠ متر) خلال المواسير (PIP) عند (SDR = ٢١) لتصرفات وأقطار مختلفة ويمكن تحويل القيم الموجودة بالجدول عند اختلاف قيمة (SDR) إلى القيم المناظرة بضربها فى معامل التحويل حسب الجدول رقم (٨-٢) . حيث SDR هى نسبة القطر الداخلى إلى السمك.

جدول رقم (٨-١) الفقد فى الرفع بالمتر لكل ١٠٠ م خلال المواسير البلاستيك (PVC) ABS أو PIP

التصرف لتر / ث	القطر الأسمى (مم) لماسورة بنظام (PIP) عند نسبة أبعاد قياسية SDR = ٢١				
	١٠١,٦ (″٤)	١٥٢,٤ (″٦)	٢٠٣,٢ (″٨)	٢٥٤ (″١٠)	٣٠٤,٨ (″١٢)
٦	٠,٧٣	٠,١١	٠,٠٣		
٨	١,٢٥	٠,١٨	٠,٠٥		

التصرف لتر / ث	القطر الأسمى (مم) لماسورة بنظام (PIP) عند نسبة أبعاد قياسية SDR = ٢١				
	١٠١,٦ (″٤)	١٥٢,٤ (″٦)	٢٠٣,٢ (″٨)	٢٥٤ (″١٠)	٣٠٤,٨ (″١٢)
١٠	١,٨٨	٠,٢٧	٠,٠٧		
١٥	٣,٩٩	٠,٥٨	٠,١٤	٠,٠٥	
٢٠	٦,٨٠	٠,٩٩	٠,٢٥	٠,٠٨	٠,٠٣
٢٥	١٠,٢٧	١,٤٩	٠,٣٧	٠,١٣	٠,٠٥
٣٠		٢,٠٩	٠,٥٢	٠,١٨	٠,٠٧
٤٠		٣,٥٦	٠,٨٩	٠,٣	٠,١٢
٥٠		٧,٥٥	١,٣٤	٠,٤٥	٠,١٩
٦٠		١٢,٧٨	١,٨٨	٠,٦٤	٠,٢٦
٨٠			٣,٢١	١,٠٨	٠,٤٥
١٠٠			٤,٨٥	١,٦٤	٠,٦٧
١٥٠			١٠,٢٩	٣,٤٧	١,٤٣
٢٠٠				٥,٩٢	٢,٤٣
٢٥٠				٨,٩٤	٣,٦٨
٣٠٠				١٢,٥٤	٥,١٥
٣٥٠					٦,٨٥

هذا الجدول وفقا لمعادلة Hazen-Williems على اعتبار (C = 150)

جدول رقم (٨-٢) معامل التحويل عند اختلاف قيمة SDR

معامل التحويل	نسبة الأبعاد القياسية (SDR)
١,٣٤	١٣,٥
١,١٣	١٧
١,٠٠	٢١
٠,٩١	٢٦
٠,٨٤	٣٢,٥
٠,٧٨٥	٤١

نسبة الأبعاد القياسية (SDR)	معامل التحويل
٥١	٠,٧٥
٨١	٠,٦٩٤
فى حالة الرفع المنخفض (٥٠ قدم)	٠,٦٧٧

والجدول رقم (٨-٣) يوضح الفقد فى الرفع (متر / ١٠٠ متر) خلال المواسير (IPS) عند نسبة أبعاد قياسية SDR = ٢١ وفى حالة اختلاف قيمة (SDR) يتم تحويل قيمة الفقد المناظر بضربها فى معامل التحويل حسب الجدول رقم (٨-٢).

جدول رقم (٨-٣) الفقد فى الرفع (متر / ١٠٠ متر) خلال المواسير البلاستيك (PVC) أو (ABS) وفقا لتصنيف IPS للأقطار

القطر الأسمى (مم) لماسورة بنظام (IPS) عند نسبة أبعاد قياسية SDR = ٢١						التصرف لتر / ث
٣٠٤,٨ (″١٢)	٢٥٤ (″١٠)	٢٠٣,٢ (″٨)	١٥٢,٤ (″٦)	١٢٧ (″٥)	١٠١,٦ (″٤)	
			٠,٠٧	٠,١٧	٠,٤٨	٦
			٠,١٢	٠,٢٩	٠,٨٢	٨
		٠,٠٥	٠,١٩	٠,٤٤	١,٢٤	١٠
	٠,٠٤	٠,١١	٠,٤٠	٠,٩٤	٢,٦٢	١٥
٠,٠٣	٠,٠٦	٠,١٩	٠,٦٨	١,٦٠	٤,٤٧	٢٠
٠,٠٤	٠,١٠	٠,٢٨	١,٠٣	٢,٤٢	٦,٧٥	٢٥
٠,٠٦	٠,١٤	٠,٤٠	١,٤٤	٣,٣٩	٩,٤٦	٣٠
٠,١٠	٠,٢٣	٠,٦٨	٢,٤٥	٥,٧٧		٤٠
٠,١٥	٠,٣٥	١,٠٢	٣,٧١	٨,٧٢		٥٠
٠,٢١	٠,٤٩	١,٤٣	٥,٢٠	١٢,٢٣		٦٠
٠,٣٦	٠,٨٤	٢,٤٤	٨,٨٦			٨٠
٠,٥٥	١,٢٦	٣,٦٩				١٠٠
١,١٧	٢,٦٧	٧,٨٢				١٥٠
١,٩٩	٤,٥٦					٢٠٠
٣,٠٠	٦,٨٩					٢٥٠
٤,٢١	٩,٦٦					٣٠٠
٥,٦٠	١٢,٨٥					٣٥٠

هذا الجدول وفقا لمعادلة Hazen-Williems على اعتبار (C = 150)

ج- مواصفات الحفر لخندق المواسير البلاستيك المدفونة

يجب أن يكون الخندق عريضا أسفل المواسير بحيث يسمح بتركيب الوصلات وكبس التربة عند الردم. يجب أن يكون مستوى قاع الخندق خال من الصخور وإذا تعذر ذلك يتم حفره أعمق من المطلوب وإعادة ردمه بطبقة من التربة الناعمة. ويجب عند دفن المواسير أن يكون عرض الخندق مناسبا للتركيب وجدول رقم (٨-٤) يوضح أقصى وأقل عرض للخندق عند نسبة أبعاد قياسية SDR = ٨١ ولأقطار مختلفة.

جدول رقم (٨-٤) أقصى وأقل عرض للخندق عند نسبة أبعاد قياسية SDR = ٨١

قطر الماسورة (مم)	أقل عرض للخندق (مم)	أقصى عرض للخندق (مم)
١٠١,٦	٤٠٦,٤	٧٦٢
١٥٤,٢	٤٥٧,٢	٧٦٢
٢٠٣,٢	٥٠٨	٧٦٢
٢٥٤	٥٥٨,٨	٧٦٢
٣٠٤,٨	٦٠٩,٦	٧٦٢
٣٥٥,٦	٦٦٠,٤	٧٦٢
٣٨١	٦٨٥,٨	٧٦٢

يجب أن يكون عمق الخندق كافى بحيث يحقق غطاء مقداره ٠,٧٥ - ١,٢٠ متر فوق المواسير المدفونة منخفضة الضغط لحمايتها من حركة المرور فوقها مع مراعاة عدم زيادة العمق كثيرا فى المناطق المنخفضة. وفى هذه الحالة يجب عمل الخندق سطحيا فى هذه المنطقة وزيادة الردم فوق المواسير لتحقيق الغطاء المناسب للمواسير. ويكون عرض الغطاء من أعلى السطح بعرض لا يقل عن ٣ متر وميول جانبية ٦ : ١ مع مراعاة أن يتم اختبار المواسير وملئها قبل الردم حتى نتفادى عملية التشوه وإنبعاج المواسير.

٨-٢-٥-٢ مواسير الخرسانة concrete pipes

تنتج المواسير الخرسانية بأقطار تتراوح بين ١٥٠ - ٦٠٠ مم وأغلب هذه المواسير تم تصميمها بحيث يتم التجميع بجوانات من المطاط وبعضها يتم توصيله بمونة الأسمنت. أقصى رفع يمكن أن تعمل عنده لا يزيد عن ٥ متر فوق محور الماسورة والمواسير الخرسانية تستخدم فى عمليات نقل المياه من المصدر إلى نقط التوزيع وما زالت تستخدم فى مجال الرى حتى بعد ظهور المواسير البلاستيك. والجدول رقم (٨-٥) يوضح الفقد فى الرفع (متر / ١٠٠ متر) فى المواسير الخرسانية عند استخدام جوانات من المطاط محسوبا على أساس معادلةماننج على اعتبار معامل ماننج ($n = 0.011$) .

جدول رقم (٨-٥) الفقد فى الرفع (متر / ١٠٠ متر) فى المواسير الخرسانية عند استخدام جوانات من المطاط

معدل التصرف	قطر الماسورة (مم)							
لتر/ثانية	٢٠٣ (٨″)	٢٥٤ (١٠″)	٣٠٥ (١٢″)	٣٥٦ (١٤″)	٣٨١ (١٥″)	٤٠٦ (١٦″)	٤٥٧ (١٨″)	٥٣٣ (٢١″)
١٥	٠,١٤							
٢٠	٠,٢٥	٠,٠٧						
٣٠	٠,٥٥	٠,١٧	٠,٠٦					
٤٠	٠,٩٨	٠,٣٠	٠,١١					
٥٠	١,٥٤	٠,٤٦	٠,١٨	٠,٠٨				
٦٠	٢,٢١	٠,٦٧	٠,٢٥	٠,١١	٠,٠٨			
٧٠	٣,٠١	٠,٩١	٠,٣٤	٠,١٥	٠,١٠	٠,٠٧		
٨٠	٣,٩٣	١,١٩	٠,٤٥	٠,٢٠	٠,١٤	٠,١٠	٠,٠٥	
٩٠	٤,٩٧	١,٥١	٠,٥٧	٠,٢٥	٠,١٧	٠,١٢	٠,٠٧	
١٠٠		١,٨٦	٠,٧٠	٠,٣١	٠,٢١	٠,١٥	٠,٠٨	
١٥٠		٤,١٨	١,٥٨	٠,٦٩	٠,٤٨	٠,٣٤	٠,١٨	٠,٠٨
٢٠٠			٢,٨٠	١,٢٣	٠,٨٦	٠,٦١	٠,٣٢	٠,١٤
٢٥٠			٤,٣٨	١,٩٢	١,٣٤	٠,٩٥	٠,٥١	٠,٢٢
٣٠٠				٢,٧٦	١,٩٢	١,٣٧	٠,٧٣	٠,٣٢

ويراعى عند استخدام المواسير الخرسانية النقاط الآتية :

١- يجب أن يحفر الخندق لوضع المواسير الخرسانية بالعمق الكافى الذى يسمح بوضع ٠,٦ متر من الردم على الأقل فوق سطح الماسورة.
٢- يجب سحب المياه من الخندق قبل وصل المواسير.
٣- يجب أن تكون جميع الوصلات نظيفة وخالية من المواد الغريبة قبل عملية التوصيل ويراعى تلافى عملية التسريب.
٤- يراعى عدم ملء المواسير بالماء قبل إتمام الردم أى ليس قبل ٣٠ ساعة على الأقل من عملية توصيل المواسير ووضع المونة والردم.
٥- يتم الكشف على التسريب بعد أسبوعين من التشغيل المستمر ويراعى عمل الترميمات اللازمة لمنع التسريب.
٦- يمكن وصل المواسير الخرسانية بمنشآت من مواد أخرى باستخدام الأسمنت البورتلاندى.

٧- توصيل المضخة بقاعدتها يجب أن يكون بصورة تساعد على عدم الاهتزازات إلى خط المواسير وأماكن تثبيتها.
٨- عند إضافة الأمونيا إلى المياه العسرة ربما تترسب كربونات الكالسيوم وتلتصق بجدار المواسير وتقلل من القطر الداخلي.
٩- يجب ألا يزيد تركيز سلفات النشادر عن ٠,١ % على أن يتم غسيل الخط فورا بعد الإستعمال.
١٠- فى حالة استخدام سمادات أوتوماتيكية للتغذيه المستمره بالسماد مع مياه الرى للأسمده النيتروجينيه بصفه خاصه ، يجب استشارة الصانع لوضع حمايه مناسبه للمواسير تجنبا للأضرار الناتجه من الأسمده.
١١- يراعى فى المناطق التى يمر عليها معدات نقل ثقيلة استخدام مواسير (Cast-in-Place Concrete) .

٨-٢-٥-٣ مواسير الإسبستوس (AC) Asbestos Cement

تنتج هذه المواسير من خليط من الأسمنت البورتلاندى والإسبستوس فيبر وأسمنت خبث الفرن العالى البورتلاندى. وتنتج المواسير بطول ٤ متر وبأقطار من ٦ : ٢٤ بوصة (قطر داخلي) ونهاية الماسورة تنتج بحيث يسهل التجميع بوصلات من الكاوتش. ويراعى تغطية المواسير بطبقة من التربة لا تقل عن ٠,٦٦ متر ويوجد ٩ تصميمات لتحمل ضغط المائع المنقول وتبدأ من 30 FT إلى 90 FT وهذه الأرقام دلالة على أقل ضغط إنفجار هيدرواستاتيكى بوحدات رطل / البوصة المربعة (PSI) . أى أن الماسورة المميزة بالرقم 30 FT تتحمل ضغط أقل من تلك المميزة بالرقم 60 FT والجدول رقم (٨ -٦) يوضح الفقد فى الرفع (متر / ١٠٠ متر) لمواسير الأسبستوس من 30 FT إلى 50 FT .

جدول رقم (٨-٦) الفقد فى الرفع (متر / ١٠٠ متر) لمواسير الأسبستوس 30 FT إلى 50 FT

التصرف لتر / ث	قطر الماسورة (مم)				
	١٥٢,٤ (٦″)	٢٠٣,٢ (٨″)	٢٥٤ (١٠″)	٣٠٤,٨ (١٢″)	٤٠٦ (١٦″)
٨	٠,١٤	٠,٠٣			
١٢	٠,٣٠	٠,٠٧			
١٦	٠,٥١	٠,١٣	٠,٠٤		
٢٠	٠,٧٧	٠,١٩	٠,٠٦	٠,٠٣	
٢٥	١,١٧	٠,٢٩	٠,١٠	٠,٠٤	
٣٠	١,٦٣	٠,٤٠	٠,١٤	٠,٠٦	
٤٠	٢,٧٨	٠,٦٨	٠,٢٣	٠,٠٩	
٥٠	٤,٢١	١,٠٣	٠,٣٥	٠,١٤	٠,٠٤
١٠٠		٣,٧٣	١,٢٦	٠,٥٢	٠,١٣
١٥٠		٧,٩١	٢,٦٦	١,٠٩	٠,٢٧
٤٠٠			٤,٥٣	١,٨٦	٠,٤٦

٨-٢-٥-٤ الإنشاءات الخاصة بأعمال المواسير المدفونة

جميع خطوط المواسير المدفونة تتطلب أعمال إنشائية للمدخل وكذلك لأكثر من مخرج بالإضافة إلى الأعمال الإنشائية الخاصة بالتحكم فى الضغوط واستنزاف الهواء. ويمكن الاستفادة من المنشأ الواحد لتحقيق أكثر من هدف ويفضل استخدام المواسير الخرسانية المسلحة عند المدخل وذلك لقدرتها على تحمل الصدمات أثناء عمليات الزراعة على أن يتم تصميم المداخل بحيث ألا تسمح بدخول الحيوانات النافقة أو المخلفات إلى داخل المواسير وذلك بوضع مصفاة فى مدخل الخط ووضع مصيدة للأعشاب قبلها عند أول منشأ المدخل مع المصدر ويراعى استخدام وسيلة جمع المخلفات بطريقة سهلة ومبسطة.

٨-٢-٥-٥ وصلة المضخة الرأسية عند المخرج Pump Stands

عندما يتم دفع الماء مباشرة من المضخة إلى خط المواسير فإنه من الضرورى وجود ماسورة رأسية يمكن صنعها من الحديد أو الخرسانة المسلحة وبقطر داخلى D3 كبير بالقدر الذى يجعل سرعة السريان خلاله لا تزيد عن ٠,٦ متر / ث على أن تكون فتحة التهوية بالقدر الذى يجعل سرعة السريان خلالها عند أقصى تصرف للمضخة فى حدود ٣ متر / ث على أن تكون هناك وصلة مرنة بين مخرج المضخة وخط المواسير حتى لا تسمح لانتقال الاهتزازات للماسورة وخط المواسير وشكل رقم (٨-١) يوضح الوصلة الرأسية بين المضخة والماسورة المدفونة بغرض استنزاف الهواء والتحكم فى التدفق.

٨-٢-٦ إختبار مواسير الرى المدفونة وصيانتها

جميع خطوط مواسير الرى المدفونة يجب أن تجتاز اختبار التسريب قبل ردم الخندق وذلك بملء الخط بالماء والوصول إلى ضغط الأختيار وهو يزيد ٢٥% عن (ضغط التشغيل) تدريجيا وببطيء مع سد جميع المخارج وفى حالة وجود تسريب فى أى وصلة يتم استبدالها ويعاد اختبار الخط مرة أخرى.

فى حالة استخدام المواسير البلاستيك يراعى ملئها بالماء قبل عملية الردم لتلافى عملية التشوه والإنحناء أثناء عملية الردم. يجب التفتيش على خطوط المواسير مرة فى السنة على الأقل ويستدل على التسريب بوجود بلل بالتربة المحيطة بالماسورة. فى حالة وجود تسريب طفيف فى خطوط المواسير الأسمنتية يتم تنظيفها ومعالجتها أما فى حالة التسرب العالى يتم استبدال الماسورة.

فى حالة التسريب الطفيف فى خطوط المواسير البلاستيك يمكن معالجتها بوضع جوانات من الكاوتشوك حول مكان التسريب من السطح الخارجى والربط عليها بإحكام بواسطة حلقات أما بالنسبة للوصلات (كيعان - تيهات - محابس) يتم إستبدالها فورا. يجب استبدال المواسير والوصلات التالفة بأخرى جديدة. يجب غسل الخط لإزالة الطمى المترسب. يراعى تحريك المواسير باليد وعدم استعمال الآلات الحادة. قد يصل عمر مواسير الرى إلى ١٥ عام وذلك فى حالة العناية بالخط وعمل الصيانات الدورية السنوية التى تقدر بحوالى ١ % من تكاليف التركيب.

٨-٣ شبكات الرى بالرش

ويصلح هذا النظام لرى أنواع مختلفة من المحاصيل فى أنواع متعددة من التربة ويتم تصنيف نظام الرش تبعا لعاملين هما :

١- تشغيل رأس الرشاش منفردة (gun or boom) – مجموعة متحركة.
٢- حركة رشاشات مثبتة على خطوط مواسير (Laterals) لرى الحقل حيث يتم تحريك هذه الخطوط من موقع إلى آخر يدويا أو ميكانيكيا لرى الحقل بالكامل (Periodically moved) ، أو يتم رى الموقع بالكامل من خلال مجموعة ثابتة (Solid Set) ، أو خلال نظام دائم الحركة الدائرية حول نقطة مركزية لرى مساحة دائرية كبيرة ، أو من خلال نظام دائم الحركة لرى مساحة مستطيلة كبيرة.

والأنظمة المتحركة تصلح لرى الحقول ذات المحاصيل التى تحتاج للرى كل (٥ - ٧) أيام على الأقل ، أما الأنظمة الثابتة فتصلح فى حالة المحاصيل التى تحتاج إلى رى مكثف.

٨-٣-١ الأنظمة الثابتة (Solid Set Systems)

الأنظمة الثابتة تشمل :

١- شبكة من المواسير الألومنيوم فوق سطح الأرض يتم وضعها فى الحقل مع بدء موسم الرى وتترك حتى نهاية الموسم.

٢- النظام الدائم Permanent System وهى مجموعة المواسير تحت الأرض والتى تصنع من البلاستيك أو الإسبستوس أو الألومنيوم أو الحديد المجلفن والتى لا يظهر منها فوق سطح الأرض إلا الرشاشات وجزء من مواسير حامل الرشاش.

٨-٣-١-١ تخطيط الحقل فى الأنظمة الثابتة

عند تخطيط الحقل يؤخذ فى الاعتبار نوع المحصول ونوع التشغيل والعمالة المتاحة ورأس المال المستثمر وشكل الحقل وحجمه وطبوغرافية الأرض وشبكة الرى التى تتكون من الخطوط الرئيسية (main line) والفرعيات (Laterals) التى يتم تركيب الرشاشات عليها حيث تكون موازية لخطوط الزراعة ومتصلة بالخط الرئيسى المتعامد عليها وذلك لسهولة التوصيل. ويمكن استخدام النظام الثابت (Solid Set System) لرى منطقة ونقله لرى منطقة أخرى وذلك لتقليل النفقات ، ولذلك يفضل النظام الثابت عن النظام الدائم (Permanent System) - ويعتمد التباعد بين الرشاشات على نوع الرشاش ومقاس فتحة الرشاش وضغط التشغيل وسرعة الرياح بالمنطقة (يزداد التقارب مع زيادة سرعة الرياح لضمان انتظام الرى) ويجب على المنتج تزويد المستخدم بمعلومات وافية عن القطر الفعال للرشاش (فى حالة سرعة الرياح = صفر) والتصرف والضغط للمقاسات المختلفة وفقا للتصميم ويمكن أخذ النقاط الآتية فى الاعتبار :

١- التباعد بين الرشاشات من ٩ - ٧٣ م.

٢- مقاس فتحة الرشاش (nozzle size) من ١,٦ : ٣٢ مم.

٣- ضغط التشغيل من ٢ - ٦ كجم / سم^{٢} (بار).

٨-٣-١-٢ قطر الخط الرئيسى والفرعيات

لحساب قطر الخط الرئيسى والخطوط الفرعية يؤخذ فى الاعتبار درجة انتظام الرى المطلوب وتكاليف الضخ وفرق المنسوب بين مصدر المياه والحقل كما يؤخذ فى الاعتبار قيمة الفاقد فى الضغط بالاحتكاك والتى يمكن حسابها من العلاقة

$$H_f\ (100) = \frac{K\ (Q / C)^{1.852}}{D^{4.87}} \qquad (8\text{-}2)$$

حيث

$H_f(100)$ = الفقد نتيجة الاحتكاك لكل ١٠٠ متر مواسير

Q = التصرف (لتر / ثانية)

D = قطر الماسورة (مم)

K = ١,٢٢ x ١٠^{١٢}

C = معامل (Coff of Retardation) يتوقف على خصائص مادة صنع المواسير

وتتوقف قيمة (C) على مادة الماسورة

حيث C = ١٢٠ للمواسير الحديد المدهونة الجديدة أو الألومنيوم
= ١٤٠ للمواسير AC الإسبستوس الأسمنتية
= ١٥٠ للمواسير البلاستيك

كما يراعى النقاط الآتية عند التصميم :

١- لا تزيد سرعة التدفق بالخطوط عن (٣ م / ثانية) ، يجب أن لا تزيد قيمة الفاقد فى الضغط عن قيمة محددة يضعها بموافقة المالك للموازنة بين تكاليف المواسير وتكاليف الضخ لتعويض الفاقد ويجب عدم وجود اختلاف فى ضغط التشغيل للرشاشات فى النظام الثابت عن ± ١٥ % من ضغط التشغيل.
٢- لا تزيد السرعة عن ٢,٢٥ م / ثانية فى حالة المواسير (PVC) المستخدمة فى النظام Permanent المستديم. وتنصح معظم المصانع بعدم زيادة السرعة عن ١,٦ م / ث.
٣- يجب حساب المفاقيد فى حالة الخط متعدد المخارج والذى يشمل على خطوط فرعية متجاورة.
٤- عند تصميم الفرعيات باستخدام المواسير الألومنيوم يستخدم قطر واحد أو قطرين على الأكثر أما فى حالة المواسير PVC فيكون استخدام عدة أقطار اقتصاديا. ويمكن استخدام قانون Christiansen لتقدير فواقد الاحتكاك.

$$H_f\ (\mathrm{L}) = \mathrm{FK}\frac{\frac{\mathrm{L}}{100}\,(\mathrm{Q/C})^{\mathrm{m}}}{\mathrm{D}^{2\mathrm{m}+\mathrm{n}}} \qquad (8\text{-}3)$$

حيث $H_f(L)$: الفقد نتيجة الاحتكاك فى الفرع بطول (L)
K : ١,٢٢ x ١٠^١٢ عند استخدام الوحدات المترية
L : طول خط المواسير (متر)
Q : التصرف فى المواسير (لتر / ثانية)
D : قطر خط المواسير (مم)
m : Velocity Exponent = ١,٨٥٢
n : pipe line diameter exponent = ١,١٦٧
F : معامل التصميم يأخذ فى الاعتبار عدد الرشاشات على الخط وتوزيعها

٥- فى حالة تساوى التباعد بين كل الرشاشات على الخط فإن

$$F = \frac{1}{\mathrm{m}+1} + \frac{1}{2\,\mathrm{N}} + \frac{\sqrt[1]{m-1}}{6\,\mathrm{N}^2} \qquad (8\text{-}4)$$

عندما يكون أول رشاش على بعد يساوى نصف المسافة بين الرشاشات التالية فإن

$$F = \frac{1}{2\,\mathrm{N}-1} + \frac{2}{(2\,\mathrm{N}-1)\,\mathrm{N}^{\mathrm{m}}}\,[(\mathrm{N}-1)^{\mathrm{m}} + (\mathrm{N}-2)^{\mathrm{m}} + ...1^{\mathrm{m}}\ ] \qquad (8\text{-}5)$$

حيث
N = عدد الفتحات (الرشاشات) على الخط

٦- العلاقة بين ضغط الرشاش وتصرف الرشاش
أ- تصرف الرشاش دالة فى فتحة الرشاش ويمكن حساب تصرف الرشاش من العلاقة الآتية

$$q = k\,A\,\sqrt{P} \qquad (8\text{-}6)$$

حيث
q : تصرف الرشاش (م^٣ / ث)
P : الضغط عند الرشاش (متر ماء)
A : مساحة مقطع فتحة الرشاش
k : معامل التصرف لفتحة الرشاش

ب- يتغير التصرف من مكان لآخر على الخط الفرعى نتيجة اختلاف الضغط بحيث تظل النسبة بين الضغط عند نقطة محددة إلى نقطة أخرى لنفس التصرف ثابتة.
ج- النسبة بين الضغط عند أى نقطة محددة على الخط الفرعى والضغط عند نهاية الخط (p/p_0) هى نسبة الضغط وتحسب نسبة التصرف عند هاتين النقطتين من العلاقة

$$\frac{q}{q_0} = \sqrt{\frac{P}{P_0}} \qquad (8\text{-}7)$$

وتبعا لما سبق فإنه مع ثبات قطر الفرع متعدد المخارج (الرشاشات) فإن نصف الرفع الذى يفقد بفعل الاحتكاك يفقد خلال ٢٥ % من طول الخط الفرعي.

يجب أن يكون التغير فى الرفع على كامل طول الخط الفرعى بحيث لا يزيد عن ٥ % من رفع التصميم حيث يكون التغير فى التصرف ± ١٠ % بين أول وآخر رشاش وذلك للحصول على أعلى كفاءة تشغيل.
فى حالة زيادة الفاقد الكلى فى أى خط للضغط عن $(0.2\ P_0)$ فإنه يجب أتخاذ احد الحلول الأتيه:
١. تقليل طول الخط وعدد الرشاشات وبذلك تقل المساحة الزراعيه التى يخدمها الخط.
٢. تخفيض قطر الماسوره الفرعيه لاعادة الضغط الى مستواه مع تقسيم الطول الكلى الى أطوال أقل.
٣. تقسيم الخط الفرعى وعمل خط موازى header بقطر اكبر لتغذيه كل قسم على حده مع مراعاة عدم انخفاض الضغط عند أى رشاش عن $0.8\ P_0$
فى حالة استخدام أكثر من قطر بالخط الفرعى يمكن حساب فاقد الضغط كما يلى :
أ- حساب فاقد الضغط بطول الخط ذو القطر الأصغر D_2 وبطول L_2 وكمية تصرف Q_1

$$H_f\ (L_2\,, D_2) = FH_f\ \frac{L_2}{100} \qquad (8\text{-}8)$$

ب- حساب فاقد الضغط بطول خط L_1 باعتبار القطر D_1 وكمية التصرف Q_2

$$H_f\ (L_1 + L_2\,, D_1) = FH_f\ \frac{L_1 + L_2}{100} \qquad (8\text{-}9)$$

ج- حساب فاقد الضغط فى طول خط L_2 باعتبار القطر D_1 وكمية التصرف Q_1

$$H_f\ (L_2\ , D_1) = FH_f\ \frac{L_2}{100} \qquad (8\text{-}10)$$

القيم التى تم الحصول عليها من المعادلة السابقة للطول المحدد وقطر D_1 للحصول على المفاقيد فى L_1 وتصرف Q_1 .

د- حساب فاقد فى طول الخط L_1 بالقطر D_1 والتصرف Q_1 يمكن حسابه من (ج – ب)

$$H_f\ (L_1\ , D_1) = H_f\ (L_1 + L_2\ , D_1) - H_f\ (L_2\ , D_1) \qquad (8\text{-}11)$$

هـ- حساب القيمة الكلية للفاقد فى الضغط يمكن حسابها من (د + أ)

$$(H_f\ )_{total} = H_f\ (L_1\ , D_1) + H_f\ (L_2\ , D_2) \qquad (8\text{-}12)$$

أما فى حالة وجود أكثر من قطرين تستخدم نفس الطريقة لحساب الفاقد على طول الخط.

٨-٣-١-٣ التشغيل

تعتمد طريقة التشغيل للأنظمة الثابتة على تصميم الشبكة - العمالة المتاحة - مصدر الإمداد بالمياه - رأس المال المتاح وكلا النظامين يمكن أن يتم تصميمهما على الأسس الآتية :

أ- طريقة تصميم الفرعيات (Lateral design method) فى هذه الطريقة يتم التحكم فى الخطوط الفرعية كل على حدة باستخدام صمامات وبالتالى يمكن التحكم فى تشغيلها منفردة وتتيح هذه الطريقة وفرا فى أقطار المواسير الرئيسية ولكن يزداد عدد الصمامات اللازمة للتشغيل والوقت المطلوب لفتحها وغلقها إذا كان التشغيل يدويا.

ب- طريقة التصميم بالمساحة (Area block design method) وفى هذه الطريقة يتم رى مساحة محددة من الحقل فى وقت واحد باستخدام خط رئيسى لإمداد هذا الجزء بالماء.

٨-٣-٢ الأنظمة المتحركة على فترات زمنية

Periodic Lateral Moving Systems

تتحرك الخطوط الفرعية فى هذه الأنظمة لرى أجزاء مختلفة من الحقل وتظل ثابتة عند رى مساحة محددة. وأكثر الأنظمة شيوعا يتكون من خط واحد رئيسى مركزى حيث يوجد خط فرعى أو أكثر يمين ويسار الخط الرئيسى ويراعى فى هذه الأنظمة الآتى :

١- فى حالة وجود الخط الرئيسى فوق سطح الأرض فإنه يصنع عادة من الألومنيوم وتصنع الوصلات من الحديد المجلفن أو الألومنيوم المصبوب.
٢- يجب أن تكون جميع الوصلات مانعة للتسرب.
٣- تزود الخطوط الرئيسية بصمامات لتشغيل الخطوط الفرعية المطلوبة.
٤- فى حالة استخدام مواسير مدفونة تكون من PVC أو AC أو الحديد المعزول ضد الصدأ.
٥- عند استخدم مواسير AC والتى تصنع بأطوال لا تزيد عن ٤ متر نظرا لثقل وزنها يراعى حمايتها من ظاهرة الطرق المائي.
٦- تزود الخطوط بوصلات من المطاط أو جوانات لكى تسمح للمواسير بالتمدد مع زيادة درجة الحرارة ومنع التشقق. يتم التصميم على أساس الفواقد كما فى الأنظمة الثابتة. ويمكن تقسيم الأنظمة المتحركة إلى أربعة أنواع هى :

٨-٣-٢-١ الخطوط الفرعية المتحركة يدويا Hand Moving Laterals

تصنع حاليا هذه الخطوط الفرعية من الألومنيوم وتتراوح الأقطار المستخدمة بين ٥٠ ، ٧٥ ، ١٠٠ مم (٢ ، ٣ ، ٤ بوصة) وأطوال المواسير ٦ ، ٩ متر والرشاشات المستخدمة على هذه الفرعيات تكون ذات فتحة واحدة أو فتحتين ويتراوح التصرف بين ٥ر٤ – ٤٥ لتر / دقيقة وضغط التشغيل بين (٢ - ٤) كجم/ سم^{٢} (بار).

٨-٣-٢-٢ الفرعيات المتحركة على عجلات Side Roll

تتحرك الخطوط الفرعية على عجلات مثبتة على الخط الذى يعتبر بمثابة محور لهذه العجلات ومع استخدام وصلات قوية للمواسير يمكن تحريك خطوط بأطوال حتى ٤٠٠ م بهذه الطريقة بوجود قوة محركة لدفع العجلات. تستخدم مواسير الألومنيوم بأقطار (٧,٥ - ١٠ سم) ، وبحيث لا يقل سمك جدار الماسورة عن ١,٨ مم لضمان المتانة وطول الماسورة ١٢,٢ متر مع الأخذ فى الاعتبار النقاط الآتية :

١- يجب أن يكون قطر العجلة مناسبا لمرور الخط أعلى النبات المنزرع بدون إتلافه وتستخدم العجلات بأقطار (١ – ١,٥ – ٢ م).
٢- يزود الخط بصمام صرف (قريبا من الرشاش والوصلة) يفتح أوتوماتيكيا عند تلاشى الضغط بالخط مما يسمح بصرف الماء بالخط وذلك قبل نقله لموضع جديد للحفاظ على المعدة التى قد تصاب بأضرار عند نقلها والخط ملئ بالماء.
٣- يجب أن تكون المسافة التى يتحركها الخط من موضع لآخر فى حدود ١٨,٣ م.
٤- يجب أن يكون التباعد بين الرشاشات يساوى طول الماسورة = ١٢,٢ م.
٥- يتم تركيب عجلة عند منتصف طول كل ماسورة بالإضافة إلى عدد ٤ عجلات عند نهاية وبداية الخط ويستخدم محرك مناسب لدفع الخط.
٦- عند تشغيل الخطوط الفرعية فإنها تتحرك ويتم توصيلها بكل فتحة على الخط الرئيسى فى مشوار الذهاب ثم تعود لنقطة البدء ، وفى نظام آخر للتشغيل فإنها تتصل بالفتحات الفردية فى مشوار الذهاب ثم الزوجية فى مشوار العودة إلى نقطة البدء.
٧- نظرا لأن الحاجة تدعو لسرعة فتح صمام الماء فى أول الخط وسرعة إمتلائه بالماء مما يؤدى لحدوث ظاهرة الطرق المائى Water Hammer عند نهاية الخط الفرعى ، فإنه يتم تزويد النهاية المغلقة للخط الفرعى بـ Surge Plug صمام الصدمات الهيدروليكية. ومن الشائع حاليا استخدام الخط الفرعى بحيث يتم اختيار القطر المناسب لخط المواسير بحيث لا يزيد الفاقد عن ٢٠ % من ضغط التشغيل عند التصرف المائى المار فى الخط.

٨-٣-٢-٣ الفرعيات المتحركة على عجلات على بإطار

Side Moving with Trail Lines

تتحرك الخطوط الفرعية على عجلات والعجلات مثبتة بدورها على إطار معدنى Frame وبالتالى لا يعتبر الخط الفرعى محورا للعجلات مما يتيح حماية خط مواسير المياه من التلف نتيجة عزم الالتواء ، مع ملاحظة رفع الخط الفرعى بالدرجة المطلوبة لتفادى الزراعة وترتبط العجلات بمحور الإدارة Drive Shaft الذى يمتد أسفل الخط الفرعي. وتتواجد وحدة الدفع فى منتصف أو أحد طرفى الخط ومع وصول المعدة لنهاية الحقل يتم إعادتها بمعرفة العمالة اليدوية لنقطة البدء.

٨-٣-٢-٤ نظام الحركة بالقطر الخلفى End tow move

تكون وصلات الخط الفرعى ذات متانة عالية مما يتيح سحب الخط من طرفيه ، ويتم ذلك بتثبيت لوح معدنى مستو بالجانب السفلى من الوصلة وتستخدم أسلاك صلب لتثبيته بطرفى الماسورتين. ويتحمل

اللوح الجزء الأكبر من إجهاد الشد المتولد مع انبعاج الوصلة. ومع استخدام المواسير الطويلة يثبت لوح سفلى بمحاذاة الخط ويتم لحامها بدعامات جمالونية مائلة (Truss Shape)
نظرا لمرونة المواسير والوصلات فإنه يسمح بانبعاج بسيط للخط عند نقله من موضع لآخر، كذلك يفضل فى هذا النوع استخدام صمامات الصرف وإن كانت ليست بنفس الأهمية كما فى (Side roll system).

٨-٤ الأنظمة محورية الحركة Center-Pivot System

عند استخدام هذه النظم يجب أن يؤخذ فى الاعتبار ملاءمة نوع التربة ، طبوغرافية الأرض والمحاصيل المنزرعة ، تكاليف المعدات اللازم لاستبدال الأجزاء المعطلة فى النظام والتى يلزم إصلاحها بسرعة شديدة لما قد يصيب الزراعات من تلف من جراء تأخر الرى ويتطلب ذلك توافر قطع الغيار والفنيين المختصين.

٨-٤-١ وصف النظام

يتكون النظام من خط فرعى واحد يتم تثبيته من أحد طرفيه بجمالون ليدور حوله حركة دائرية أثناء عملية الرى ويتم التزويد بالماء من خلال نقطة المركز. ويتكون الذراع من وصلات متساويه الأطوال تربطها دعامات مفصليه Hinged connections لتقليل عزم الثنى على الذراع Bending moment وتكون محركات الجر هى المسئوله عن إستقامته. ويتحرك الخط الفرعى مرتكزا على وحدات دفع ويكون معلقا باستخدام كابلات Cables بالجمالون المركزى أو يدعم بجمالون بين وحدات الدفع ، وتكون وحدات الدفع مثبتة على عجلات كل ٨٠ إلى ٢٥٠ قدم (٢٤ - ٧٥) متر بطول الخط الفرعى والذى تتراوح أطواله بين (٢٠٠ - ٢٦٠٠) قدم (٦٠ - ٧٨٠) متر.

تتصل كل وحدة دفع بموتور كهربائى خاص بها لتحريك العجلات ، وتتحدد سرعة دوران الخط بسرعة وحدة الدفع الطرفية. ولابد من ضبط سرعات وحدات الجر الداخليه بحيث تتاسب نصف القطر المركبه عنده، أى تساعد سرعة العجلات على ضمان استقامة الذراع

يزود النظام بجهاز أمان لإيقاف حركة الخط فى حالة حدوث إنحراف فى حركة العجلات حتى لا تحدث تلفيات بالخط.

يمكن للخط الفرعى أن يتحرك باستخدام ضغط الماء الخارج من الرشاشات والذى يتراوح بين (٤ - ٨) كجم / سم^{٢} عند المركز.
عند استخدام المحركات الكهربية لتحريك وحدات الدفع بقدرة ٠,٥ ، ٠,٧٥ ، ١ ، ١,٥ حصان ، ويستخدم مولد كهربى عند محور الدوران لتوليد الطاقة المطلوبة أو تستخدم كابلات أرضية للحصول عليها.

فى الأنظمة التى تعمل بضغط الزيت ، تمد مواسير تغذية ورجوع الزيت من وإلى مضخة الزيت إلى المكابس أو المحركات الموجودة على كل وحدة دفع وتعمل مضخة الزيت بموتور كهربى للحصول على (٦٠٠ - ٢٠٠٠) رطل / البوصة المربعة (٤٠ - ١٣٠) كجم / سم^{٢} لضغط الزيت بالأنابيب. ويجب الحذر عند استخدام الأنظمه الهيدروليكيه فى البيئه الزراعيه نظرا لمشاكلها الكثيره.

فى الأنظمة التى تعمل بالكابلات (Cable-drive System) توجد مضخة زيت واحدة عند نقطة الدوران المركزية وعند عملها تقوم كابلات حديدية بنقل الحركة إلى وحدات الدفع على طول الخط.

حاليا تستخدم الأنظمة منخفضة الضغط ذات رشاشات ثابتة صغيرة ويتم تحريك الجهاز عن طريق محركات كهربية تتواجد عند الأبراج على طول الخط ولا تستخدم الأنظمة الهيدروليكية فى تحريك الجهاز نظرا لإرتفاع الضغط المطلوب.

٨-٤-٢ معدلات الرى Water Application Rates

تتفاوت معدلات خروج الماء من الخط الفرعى على إمتداد طوله حيث يقل المعدل عند المركز ويزيد عند الطرف الحر للخط (وذلك لتزايد التباعد الزمنى لمرور الخط عند نقطة محددة كلما إبتعدنا عن المركز) ويوضح جدول رقم (٨-٧) المدة الزمنية للرى عند النقط المختلفة على الخط الفرعى للسرعات المختلفة للدوران وأنواع الرشاشات.

يتفاوت مقاس الرشاش حيث يزيد مع الإبتعاد عن مركز الحركة ويتراوح ضغط التشغيل بين (٤ - ٧) كجم / سم^{٢} ، أو يمكن استخدام نفس الرشاش مع تغيير مقاس فتحة الرشاش والتباعد بينها حيث يقل التباعد عند الطرف الحر ويتراوح ضغط التشغيل بين (٣ - ٥) كجم / سم^{٢} .

تحدد معدلات الرى بمقاس فتحة الرشاش ، الضغط ، التباعد بين الرشاشات طول الخط الفرعى ، نوع الرشاشات ، وعند تحديد هذه المتغيرات بمعرفة المصنع فإن معدل الرى يتم تحديده ولا يتغير حتى مع اختلاف سرعة دوران الخط الفرعى والتى تؤثر فقط على عمق مياه الرى (Water Depth) .

جدول رقم (٨-٧) المدة الزمنية للرى عند النقط المختلفة لخط جانبى حسب سرعة الدوران ونوع الرشاش

زمن دورة كاملة (ساعة)	المسافة على طول الخط الجانبى من المركز (متر)											
	٥٠,٣			١٠٠,٦			٢٠١,٢			٤٠٢,٣		
	قطر منطقة عمل الرشاش											
	* ٩,١	+ ٢,٤٧	++ ٢٤,٤	* ٩,١	+ ٢٧,٤	++ ٢٧,٤	* ٩,١	+ ٢٧,٤	++ ٣٩,٦	* ٩,١	+ ٢٧,٤	++ ٥٣,٣
٦	١٠	٣١	٢٨	٥	١٦	١٦	٣	٨	١٢	١	٤	٨
١٢	٢١	٦٣	٥٦	١٠	٣١	٣١	٥	١٦	٢٢	٣	٨	١٦
٢٤	٤٢	١٢٥	١١١	٢١	٦٣	٦٣	١٠	٣١	٤٥	٥	١٦	٣٠
٤٨	٨٣	٢٥٠	٢٢٢	٤٢	١٢٥	١٢٥	٢١	٦٣	٩١	١٠	٣١	٦١
٦٠	١٠٤	٣١٣	٢٧٨	٥٢	١٥٦	١٥٦	٢٦	٧٨	١١٣	١٣	٣٩	٧٦

* رشاش ذو توزيع على شكل رذاذ
+ المقاسات المتوسطة التركيب والتوزيع
++ المقاسات من الصغيرة إلى المقاسات ذات الترتيب والتوزيع الواسع

٨-٤-٣ البيانات الحقلية اللازمة للتصميم

يلزم للتصميم الحصول على خريطة للمنطقة المطلوب ريها لتوضيح حدود الحقل ، المناسيب ، العوائق ، مصدر المياه ، مصدر الطاقة وهذه الخرائط قد تكون صورا جوية أو خرائط طبوغرافية.تتراوح أطوال الخطوط الفرعية بين (٦٠ - ٨٠٠ م) ويفضل طول ٤٠٠ م وهو شائع الاستخدام.

٨-٤-٤ تصميم الرشاش

يتم تصميم الرشاش بما يتلاءم :

١- السعة المائية للتربة Water intake capacity of soil .
٢- متطلبات النبات Crop Water requirements .
٣- مواصفات الخط الفرعي.

أما كمية الماء التى يقوم على أساسها التصميم design capacity فإنه يتم حسابها بإعتبار أقصى احتياجات للنبات ، السعة المائية للتربة ، الوقت بين الريات ، المساحة المروية ، كفاءة الرى والزمن المطلوب لإتمام دورة واحدة للرشاش.

٨-٤-٥ مساحة الأرض المروية

تحسب مساحة الأرض المروية من العلاقة الآتية

$$A = \frac{\pi . Li^2}{K_1} \qquad (8\text{-}13)$$

حيث

A : المساحة المروية بالفدان
Li : نصف القطر الفعال لخط الرى الجانبى بالمتر
π : النسبة التقريبية لمحيط الدائرة على القطر = ٣,١٤
K_1 : ثابت تحويل يساوى ٥٥ر٤٢٠٠ (مساحه الفدان بالمتر المربع)

تزود بعض الخطوط الفرعية بخط فرعى عند طرفها الحر يمكن مده لرى أركان الحقل المستطيل الشكل وتطوى عند الجوانب ، وعند استخدام هذا النوع تضاف المساحات المروية عند الأركان الأربعة للمعادلة السابقة.

٨-٤-٦ كمية الماء المطلوبة

ويمكن حساب كمية الماء المطلوبة (حسب الاحتياجات القصوى) من المعادلة الآتية :

$$Q = 0.277 \frac{E_t \, At}{E_i \, t_i} \qquad (8\text{-}14)$$

Q : معدل التصرف (لتر / ثانية)
E_t : أقصى معدل مياه مستخدم (مم / يوم)
A : المساحة المروية بالفدان
t : الزمن بين الريات باليوم
E_i : كفاءة نظام الرى المستخدمة كنسبة مئوية على صورة كسر عشري
t_i : الزمن اللازم لرى خط فرعى رية واحدة باليوم

مع الأخذ فى الاعتبار النقط الآتية :

- تؤخذ قيمة E_i بين (٧٠ - ٨٠) %.
- يجب أن تزيد قيمة Q التصميمية عن القيمة المحسوبة بالمعادلة السابقة بنسبة بين (٥ - ١٠) % كمعامل أمان.
- باعتبار توزيع معدل الإمداد بالماء على الخط الفرعى يأخذ الشكل البيضاوى فإنه يمكن استخدام المعادلة الآتية لتقدير أقصى معدل إضافة بالماء.

$$P = 4584 \frac{Q}{L_g \; L_1} \quad (8\text{-}15)$$

حيث

P : أقصى معدل إمداد بالمياه للرشاشات فى آخر الخط (مم / ساعة)
Q : معدل التصرف للخط (لتر / ثانية)
L_1 : نصف قطر المساحة المبللة خارج نهاية الفرع (متر)
L_g : نصف القطر الفعال للخط الفرعى (متر)

٨-٤-٧ حساب عمق الماء

يمكن حساب هذه القيمة لكل دورة من دورات الخط الفرعى من المعادلة الآتية

$$D = 0.15 \frac{Q \, t_1}{A} \quad (8\text{-}16)$$

D : عمق المياه التطبيقى (مم)
Q : معدل التصرف للمحور المركزى (لتر / ثانية)
A : المساحة المروية (فدان)
t_1 : زمن تشغيل الخط الفرعى لرية واحدة (ساعة)

٨-٤-٨ حساب الزمن اللازم لإتمام الخط الفرعى دورة كاملة

تتوقف قيمة الزمن اللازم لإتمام دورة كاملة على سرعة وحدات الدفع الطرفية وبعدها عن مركز دوران الخط الفرعى ويحسب الزمن من العلاقة :

$$t_r = \frac{2 \, . \, \pi \, . \, L_3}{V} \quad (8\text{-}17)$$

حيث

t_r : الزمن اللازم للخط الفرعى لإكمال دورة واحدة
L_3 المسافة من المحور إلى وحدة الدفع النهائية (متر)
V سرعة وحدة الدفع النهائية (متر / ساعة)

٨-٤-٩ تشغيل النظام

يعتمد التشغيل الجيد للنظام على :

١- التحكم فى كمية الماء حسب نوع النبات والتربة والظروف المناخية ويتم ذلك على أساس توقيت الرى الذى يتوقف على احتياجات النبات للماء وقدرة التربة على تخزينه.

٢- نظام الصيانة والإصلاح

ويجب إتباع النقاط الآتية للمحافظة على النظام أطول فترة ممكنة :

أ- يقوم مصنع النظام بإعطاء دليل للتشغيل ويجب إتباع كافة التعليمات عند بدء تشغيل النظام فى كل موسم زراعى وعمل الصيانة اللازمة خلال التشغيل والإحتياطات المتبعة عند ترك الجهاز مدة طويلة بدون استخدام.

ب- فى كل موسم زراعة يتم تشحيم كافة الأجزاء المتحركة بالنظام بالزيوت والشحومات المحددة بالمواصفات.

ج- معالجة أى تسرب بالخطوط الفرعية فور حدوثه.

د- تعمل هذه الأنظمة بدون أى مشكلات فى الأرض المسطحة أو ذات الميول المنتظمة التى لا يزيد ميلها عن ١٠ % أما فى حالة وجود طبوغرافية غير ملائمة فتحتاج لتجهيزات خاصة (مثل الكبارى لمرور العجلات فى الأماكن المنخفضة). ومن الافضل وجود مسارات مستويه وممهده لمرور جميع العجلات الطرفيه والداخليه.

٨-٥ مدفع رشاش متحرك Traveler Gun

كانت ندرة الأيدى العاملة بالمزارع وراء استخدام هذه النظم دائمة الحركة المثبتة على جرارات لسحبها وتتم تغذيتها بمواسير مرنة بطول كاف والعناصر الرئيسية المكونة لهذا النظام هى :
المضخة ، وحدة الطاقة ، خط التغذية الرئيسى ، وحد الرى ، وحدة الحركة والرشاش.

٨-٥-١ وصف النظام ومخطط الحقل

يتكون النظام من رشاش ذو سعة عالية يثبت على خط مرن بقطر من (٣ - ٥) بوصة وبطول يصل إلى ٤٠٠ م ، أما وحدة الحركة (traveler unit) فيتم سحبها بواسطة سلك معدنى يلتف على بكرة ويستخدم محرك كهربى أو هيدروليكى لإدارة البكرة وسحب الوحدة عبر الحقل فى خط مستقيم ، ويتم الإمداد بالماء من خلال الخط الرئيسى Main Line بقطر من (٤ - ٨) بوصة لتوصيل الماء من المصدر إلى خرطوم مرن (flexible hose) ويمكن استخدام الألومنيوم أو مواسير PVC للخط الرئيسى ويصلح هذا النظام لرى الحقول بمساحات مختلفة وطبوغرافية مستوية أو غير منتظمة.

٨-٥-٢ سعة النظام وضغط التشغيل

تصميم الرشاشات على تصرف من ٦ إلى ٦٣ لتر / ثانية ويتوقف معدل ضخ الماء Pumping Rate على المساحة المطلوب ريها وكذلك عدد ساعات تشغيل المعدة وأقصى إحتياجات يومية من الماء بالنسبة لضغط التشغيل عند الرشاشات بين (٤ - ٧,٥) كجم / م^{٢} .
يمتاز هذا النظام بالتوزيع الجيد لمياه الرى نظرا للحركة المستمرة للمعدة ويوضح الجدول رقم (٨-٨) الضغط المقترح للتصرفات المختلفة.

جدول (٨-٨) الضغط المقترح للتصرفات المختلفة

الضغط (كجم / سم^{٢})	التصرف (لتر / ثانية)
٤,٠٠ - ٥,٥٠	٦,٣٠ - ١٢,٦٠
٤,٨٠ - ٥,٥٠	١٢,٦٠ - ١٨,٩٠
٥,٥٠ - ٦,٨٠	١٨,٩٠ - ٣١,٦٠
٥,٨٠ - ٧,٥٠	٣١,٦٠ أو أكثر

٨-٥-٣ مقاسات الخط الرئيسى ووحدة الرى Irrigation Hose

بعد حساب سعة النظام يمكن حساب مقاس الخط الرئيسى ووحدة الرى ويمكن الإستعانة بالجدول رقم (٨-٩) لتعيين قطر المواسير الألومنيوم.

جدول رقم (٨-٩) تحديد قطر المواسير حسب التصرفات

قطر المواسير (مم) Pipe diameter, mm	التصرف (لتر / ثانية) Flow Range, L/sec
١٠٠	٦,٣٠ - ٩,٥٠
١٣٠	٩,٥٠ - ١٩,٠٠
١٥٠	١٩,٠٠ - ٣٢,٠٠
١٨٠	٢٥ - ٤٤
٢٠٠	٦٣ - ٣٢

يوضح جدول (٨-١٠) ، (٨-١١) الخطوات الإرشادية لتحديد قطر خرطوم الرى Irrigation hose والفواقد بالاحتكاك خلالها ويراعى أن تتحمل الضغوط وإجهادات الشد المتولدة بها نتيجة سحبها النسبة المئوية للاستطالة كحد أقصى ٣ % .

القوة اللازمة لسحب خرطوم الرى Irrigation hose تعتمد على قطر الخرطوم وطوله ودرجة بلل التربة ولزوجتها.

يمكن إطالة العمر الافتراضى لخرطوم الرى بالوسائل الآتية :

١- إزالة العوائق فى مسار الخرطوم والأحجار الصلبة الحادة التى قد تحدث به تمزقات.
٢- تفادى المرور فوق الخرطوم بمعدات أو خلافه.
٣- منع الزيوت من ملامسة الخرطوم.
٤- إخراج كل الماء من الخرطوم قبل لفه وحفظه فى مكان بارد جاف فى حالة تخزينه بدون استخدام.

جدول (٨-١٠) فواقد الاحتكاك فى خرطوم الرى المستخدم فى Traveling Sprinkler System

التصرف لتر / ث	قطر الخرطوم (مم) فواقد الاحتكاك K Pa / 200 m			
	٧٦	١٠٢	١١٤	١٢٧
٦,٣	٣١			
١٢,٦	١١٣	٢٨		
١٨,٩	٢٥٥	٥٩	٣٣	
٢٥,٢		١٠٠	٥٧	٣٤
٣١,٥		١٥٠	٨٦	٥١
٣٧,٨		٢٢٠	١٢٠	٧٢
٤٤,١			١٦٠	٩٥
٥٠,٤			٢٠٠	١٢٠
٥٦,٧			٢٥٠	١٥٠
٦٣				١٨٥

جدول (٨-١١) قطر الخرطوم خلال نظام traveler بناء على معدلات التصرف

قطر الخرطوم (مم)	التصرف (لتر / ث)
٦٤	٣,٢٠ - ٩,٥٠
٧٦	٩,٥٠ - ١٥,٨٠
٨٩	١٢,٦٠ - ٢٢,٠٠
١٠٢	١٥,٨٠ - ٣٢,٠٠
١١٤	٣٢ - ٤٤
١٢٧	أكبر من ٤٤

٨-٥-٤ الإنتظامية والمسافة بين مسارات الرشاش

Water Uniformity and Lane Spacing

من الاعتبارات الهامة فى أنظمة الرى الحديثة مقدار ما توفره من انتظام فى توزيع مياه الرى على مساحة الحقل ، ويقدر عدديا بمعامل الانتظام Coeff of Uniformity (CU) . يمكن استخدام علاقة Christiansen لحساب معامل الإنتظام CU حيث :

$$CU = 100\{1 - \frac{\sum (x_i - \bar{x})}{n\bar{x}}$$

x_i = individual water application depth measured in catch cans in the field

عمق المياه فى كل من المجمعات الحقلية

= the mean of all x_i $\bar{x}$ — $\bar{x}$ القيمة المتوسطة لعمق الماء

n = no of readings — n – عدد القراءات

ومن واقع العديد من الأبحاث التى أجريت لتقدير قيمة هذا المعامل باستخدام هذه الأنظمة مع اعتبار التغيرات فى سرعة الريح ، إتجاهها ، كمية التدفق وضغط التشغيل. كانت متوسط النتائج هى أن قيمة CU تتراوح بين ٧٠ ، ٧٥ % ومتوسط سرعة الرياح يعادل ١٦ كم / س وكان الإنتظامية والمسافة بين مسارات الرشاش Lane spacing تعادل من ٧٠ ، ٦٠ % من القطر المبلل Wetted diameter ويوضح جدول رقم (٨-١٢) أقصى مسافة بينية كدالة فى القطر المبلل وسرعة الرياح.

جدول رقم (٨-١٢) أقصى مسافة بينية كدالة فى القطر المبلل وسرعة الرياح

Maximum Travel Land spacing as a Function of Wetted Diameter and Wind Speed

القطر المبلل للرشاش (متر)	سرعة الرياح كم / ساعة			
	نسبة القطر المبلل (%)			
	صفر	صفر - ٨	٨ - ١٦	أكبر من ١٦
	٨٠ %	٧٠ %	٦٠ %	٥٠ %
٦٠	٤٨ م	٤٢ م	٣٦ م	٣٠ م
٩٠	٦٢ م	٦٣ م	٥٤ م	٤٥ م
١٢٠	٩٦ م	٨٤ م	٧٢ م	٦٠ م
١٥٠	١٢٠ م	١٠٥ م	٩٠ م	٧٥ م
١٨٠	١٤٤ م	١٢٦ م	١٠٨ م	٩٠ م

٨-٥-٥ عدم الانتظام عند نهاية الحقل
يمكن التغلب على عدم انتظام الرى عند نهاية الحقل بزيادة مدة الرى عند النهايات.

٨-٥-٦ انتظام سرعة السير
معامل الانتظام (CU) الذى سبق حسابه ، يعتمد على سرعة سير منتظمة للنظام عبر الحقل وهى قيم قابلة للتغير مع الاختلاف فى السرعة من جزء لآخر خلال الحقل ، وأوضحت الأبحاث حدوث تباين فى السرعة قد يصل إلى ٦٠ % والاختلاف فى السرعة يرجع إلى اختلاف الحمل الواقع على بكرة الكابلات التى تقوم بالسحب مع اختلاف طول خرطوم الرى (حتى مع انتظام طبوغرافية الأرض).

وكذلك تتغير السرعة مع الاستمرار فى لف الخرطوم على البكرة وزيادة القطر على البكرة. وعلى ذلك يحدد أقصى تباين مسموح به فى سرعة الحركة بـ ١٠ % .

٨-٥-٧ التشغيل
إن استخدام العمالة اليدوية لنقل الأجهزة من موقع لآخر يتطلب من نصف ساعة إلى ٤ ساعات ولتحديد زمن التشغيل يجب أن يؤخذ فى الاعتبار الزمن المطلوب لنقل الأجهزة للحقل وتشغيل الطلمبة وملء الخط بالمياه. ويجب الحذر الكامل عند تحريك خرطوم الرى عند بسطه (فرده) حتى لا تحدث به انبعاجات مع وجود ماء تحت الضغط به. من الأفضل بسط (فرد) خرطوم الرى فوق أرض منزرعة بالحشائش نظرا لأن وجوده فوق أرض لزجة تلتصق به وتولد قوى وإجهادات بالخرطوم.

٨-٦ الأنظمة المتحركة الجانبية Traveling Lateral Systems
نظرا لأن أركان الحقل تترك بدون رى فى الأنظمة مركزية الحركة فقد تم تطوير نظم مزودة بخطوط فرعية تتحرك طوليا بصفة دائمة ويتم إمداد الخط الفرعى بالمياه من خلال خرطوم رى أو جهاز يقوم بسحب المياه من المصدر ، وتتيح هذه الأنظمة رى الحقول المستطيلة الشكل بالكامل. وخرطوم الرى المستخدم مثل الخرطوم المستخدم فى النظام السابق وتظل مشكلة الإحتفاظ بالسرعة الثابتة قائمة. أما الرشاشات فى هذه الحالة فهى أصغر كثيرا من النظام السابق مما يسبب فقد بسيط عند الأطراف وتعطى معامل إنتظام عالى لمياه الرى.

٨-٦-١ تخطيط الحقل
اختيرت الفرعيات بأطوال حتى ٤٠٠ م ووجد أنها فى بعض الأحوال أكثر اقتصادية من النظام مركزى الحركة لرى مساحة مربعة مساحتها (65 ha) (١٥٠ فدان). ولكن بصفة عامة فإن تكلفة خرطوم الرى والعمالة الزائدة يمنع من استبدالها بالأنظمة المركزية الحركة ويحتاج هذا النظام لخط رئيسى (أو قناة كمصدر مائى).

٨-٦-٢ تباعد الرشاشات ومقاس الفتحة والضغط
لحقل تبلغ مساحتة ٦٥ هكتار (١٥٠ فدان) فإن السعة المطلوبة فى هذا النظام تفوق سعة النظام المركزى الحركة. ويتوقف حجم الرشاش المطلوب على سعة التربة حيث تعوق السعة الكبيرة استخدام الرشاشات الصغيرة ذات الضغط (٢,٧ كجم / سم^{٢}) أو أقل .

٨-٦-٣ التشغيل
نظرا لأهمية العمالة اليدوية لتشغيل النظام عند بلوغه نهاية الحقل أو نهاية خرطوم الرى فإن الرى بصفة يومية غير مفضل فى هذه الأنظمة. ويمكن تشغيل هذا النظام كما بالأنظمة المتحركة يدويا ، كما أن

المعدل البطيء للحركة يحمى خرطوم الرى من التآكل. توفر هذه الأنظمة معامل انتظام CU عالى يصل إلى ٩٥ % . يعتبر هذا النظام حتى الآن غير شائع بسبب تكلفته العالية.

٨-٧ الرى بالتنقيط

يعتبر الرى بالتنقيط أحدث طريقة لتوزيع المياه والإستفادة بها فى حالة ترشيد إستهلاك المياه. وفى هذه الطريقة يتم دفع الماء ببطيء إلى التربة من خلال نضاضات أو نقاطات موزعة على نقط على طول خرطوم الرى. ويمكن استخدام هذه الطريقة فى رى الصوب الزراعية والزراعات المحمية وأغلب النقاطات توضع على سطح الأرض. ومن الممكن أن تكون مدفونة كما أن استخدام المواسير البلاستيكية جعل هذه الطريقة عملية لما تتطلبه من طاقة محدودة. ويتم اختيار طريقة الرى لتتلاءم مع المحصول الزراعى - ونوعية الموقع - والهدف من عملية الرى.

٨-٧-١ مميزات الرى بالتنقيط

١- تستخدم المياه بمعدلات صغيرة ولمساحات محددة حول الأشجار وذلك لتسهيل عملية تغلغل المياه (Water Penetration) .
٢- توفير مياه الرى حيث تقل مساحة السطح المعرض للبخر.
٣- تقلل من نمو الأعشاب.
٤- يمكن استخدامها فى تسميد الأرض وذلك بحقن الأسمدة مع مياه الرى.

٨-٧-٢ مساوئ نظام الرى بالتنقيط

١- تعتبر مشكلة إنسداد النقاطات والتى تتوقف على عوامل طبيعية وكيميائية وحيوية هى أهم المشاكل التى تواجه نظام الرى بالتنقيط حيث يؤدى ذلك إلى تقليل تجانس التوزيع ويسبب خسائر فى المحصول قبل اكتشاف هذا الانسداد. ويمكن عن طريق تحسين عملية الترشيح وإجراء بعض المعاملات الكيميائية للمياه تقليل انسداد المرسل.
٢- فى حالة زيادة الملوحة فى بعض المناطق يؤدى الرى بالتنقيط إلى تجمعها على سطح الأرض المالحة.
٣- فى النباتات ذات الكثافة العالية والتى تحتاج إلى كميات كبيرة من المواسير لوحدة الأرض يكون غير اقتصادى استخدام نظام الرى بالتنقيط.
٤- فى حالة تعرض المنطقة إلى الأمطار تتحرك الأملاح السطحية إلى منطقة الجذر ولذلك يجب استمرار الرى بالتنقيط خلال موسم المطر لتلافى هذه المشكلة.

ولتقليل حدوث الإنسداد فإنه يجب مراعاة مايلى:

١. توفير فتحات صرف بالخطوط لكى يتم فتحها عند بدء دورة الرى لإزالة الرمال.
٢. إستخدام نقاطات يمكن فكها للتنظيف قبل بدء دورة الرى.
٣. تغيير النقاطات المسدوده وضبط مواضع النقاطات فى حالة تحرك الخراطيم.

٨-٧-٣ مكونات نظام الرى بالتنقيط

تحدد نسبة مساحة الأرض التى يراد توصيل المياه إليها ونوع المحصول والمسافة بين النباتات والمسافة من مصدر المياه إلى مدخل الحقل (الترع - المساقى - المواسير) والتى تمثل العنصر الأساسى لأى نظام. أما العناصر الإضافية والتى تشمل التركيبات المختلفة لفصل الرمال ومصفاة المآخذ ومنظمات التصرف والضغط ومضخات التعزيز (للتغلب على الجاذبية الأرضية) وعدادات التصرف والمحابس وحاقن الأسمدة ونظام التحكم تعتبر من مكملات نظام الرى بالتنقيط. كما أن خط النقل بين المزرعة

والمصدر يتطلب وجود فلتر أو نظام لفصل الشوائب العالقة بالمياه وهناك نظم بسيطة لنظام الترشيح ونظم مزودة بأجهزة الغسيل الخلفية ويراعى فى اختيار أجهزة الترشيح الآتى :

١- أن تكون ذات معدل تصرف يماثل التصرف المطلوب للرى.
٢- أن تكون قادرة على فصل العوالق الدقيقة.

ويفضل فى حالة استخدام نظام الرى بالتنقيط استخدام ماء نظيف. ونظام الرى بالتنقيط يتكون من :
١- خط الرى الرئيسي.
٢- الخطوط الفرعية.
٣- الخطوط الجانبية.
٤- النقاطات.

وشكل رقم (٨-٢) يوضح أمثلة لبعض أنواع النقاطات المستخدمة.

٨-٧-٣-١ الخطوط الجانبية Lateral Lines

توصل النقاطات بالخطوط الجانبية وفى بعض الأحيان جزء من الخطوط ، وتصنع الخطوط الجانبية من مادة البولى إيثيلين بلاستيك (PE) وتنتج بأقطار من ٨ : ٢٠ مم وغالبا تستخدم الأقطار ١٦ مم ، ويوصى باستخدام الخطوط PE من المرتبة C لمقاومتها للعوامل الجوية ، ويوجد نوعان من الوصلات التى تصنع من PE هما المدفونة (buried) وتوصل داخل الماسورة بينما النوع الثانى وهو المضغوط Compression يوضع فوق السطح الخارجى للماسورة. وتزود الخطوط الفرعية بطبة فى نهايتها يتم إزالتها من فترة إلى أخرى فى حالة غسيل الخطوط، ويمكن أن يزود الخط بصمام للصرف يتم فتحه عند بدء دورة الرى لازالة الرمال ونزف الخطوط.

٨-٧-٣-٢ الخطوط الفرعية Submain Lines

يتم توصيل الخطوط الجانبية بالخطوط الفرعية وربما مباشرة بالخطوط الرئيسية وعادة تصنع الخطوط الفرعية من (PVC) . ويجب أن تحتوى الخطوط الرئيسية والفرعية على مخارج بمحابس حتى يسمح بغسيل الخطوط من فترة إلى أخرى. ومن الممكن أن تحتوى الخطوط الفرعية على محابس تنظيم الضغط أو تحكم فى التصرف سواء كانت أوتوماتيكية أو يدوية، وكذلك عدادات قياس التصرف والضغوط بالإضافة إلى محابس توجد على طول الخط الرئيسى يدوية التشغيل وذلك لعزل بعض المناطق عند الحاجة وخصوصا فى حالة تلف جزء من الشبكة حتى لا يعطل رى باقى الأجزاء. ويفضل أن تخطط الخطوط الفرعيه فى شكل حلقه loop وتوصل نهاياتها وتفصل بمحابس يتم فتحها عند اللزوم.

٨-٧-٤ وحدة التحكم

يتكون النظام من محطة تحكم رئيسية أو من مضخة وفلاتر ومحابس تنظيم الضغط ومحابس تحكم فى التصرف وعدادات تصرف وعدادات قياس الضغط ونظام تحكم أوتوماتيكى أو مؤقت (تيمر) بالإضافة إلى أجهزة حقن المواد الكيميائية.

٨-٧-٥ هيدروليكية نظام الرى بالتنقيط

تتوقف هيدروليكية النظام على مكوناته وطريقة التوزيع وكذلك خصائص أداء المحابس والمضخات والفلاتر والخطوط وما يتم إضافته إلى الشبكة.

٨-٧-٥-١ هيدروليكية النقاطات

هيدروليكية النقاطات تحدد التصرف من خلاله ويمكن توصيف خصائص النقاطات بالآتى :

١- حالة السريان (رقائقى - إضطرابى).
٢- فقد الضغط خلاله.
٣- الوصلات الجانبية.
٤- السريان خلال المقطع.
٥- توزيع المياه.
٦- خصائص نظام التنظيف والغسيل.
٧- مادة الصنع.

٨-٧-٥-٢ التصرف خلال النقاط

١- فى حالة استخدام النقاطات ذات الفتحة الصغيرة (Orifice Emitter) فى هذه الحالة يكون السريان اضطرابى خلال فتحة صغيرة يمكن حساب معدل التصرف من العلاقة الآتية :

$$q = 3.6\ AC_0 \sqrt{2gh} \qquad (8\text{-}18)$$

حيث

q التصرف خلال النقاط لتر / ساعة
A مساحة الفتحة مم^2
C_0 معامل الأرفس (عادة فى حدود ٠,٦)
h الرفع عند النقاط بالمتر
g عجلة الجاذبية م / ث^2

فى حالة المرسلات ذات المسار الطويل Long Flow Path Emitter
يمكن حساب التصرف من العلاقة الآتية

$$q = 113.8\ A \sqrt{2ghD / FL} \qquad (8\text{-}19)$$

حيث

q التصرف خلال النقاط لتر / ساعة
D القطر الداخلى (مم)
L طول الماسورة (متر)
F معامل الاحتكاك

وهناك معادلة تجريبية يمكن استخدامها على أساس أن التصرف دالة فى ضغط التشغيل وهى :

$$q = K_e\ H^x \qquad (8\text{-}20)$$

حيث

q التصرف
K_e معامل يعبر عن أبعاد النقاط

H رفع التشغيل (متر)
x يعبر عن السريان خلا ل المرسل

والمعامل x & K_e يمكن تحديدهما من خلال رسم العلاقة بين q & H فى صورة لوغاريتمية. ليكون ميل الخط المستقيم هو x وتقاطعه مع H = ١ هو k_e . وعلى المصنع توضيح النسبة بين اللزوجة الكينماتيكية عند درجة حرارة الاختبار واللزوجة الكينماتيكية عن درجة حرارة التشغيل التى يعبر عنها بالمعامل C_v . من خلال هذا المعامل C_v وعن طريق ضرب هذا المعامل فى تصرف النقاط عند الاختبار يمكن حساب التصرف فى حالة السريان الرقائقى أو عند درجة حرارة تختلف عن درجة حرارة الاختبار.

٨-٧-٥-٣ هيدروليكية خطوط الرى بالتنقيط

تصنع مواسير التوزيع الرئيسى والفرعى من البلاستك PVC أما مواسير التوزيع النهائى فتكون خراطيم مرنه من المطاط تثقب فيها النقاطات حشرا. وتعتبر مواسير ملساء ويعتبر السريان خلال خطوط الرى سريان مستقر ويمكن حساب فواقد الإحتكاك خلال خطوط الرى بالتنقيط من معادلة Darcy Weisbach :

$$H_f = 0.0827 \ (FLD^{-5} \ Q^2 \ ) \tag{8-21}$$

حيث
H_f الفقد نتيجة الاحتكاك (متر)
L طول الماسورة (متر)
D قطر الماسورة (متر)
Q معدل التصرف (م^3 / ث)
F معامل الاحتكاك

ويمكن حساب معامل الاحتكاك للماسورة الملساء فى حالة السريان الإضطرابى حيث
$(4000 \le R_e \le 10000)$ حيث R_e رقم رينولدز ومن خلال معادلة بلاسيوس

$$F = 0.316 \ R_e^{-0.25} \tag{8-22}$$

أما بالنسبة للسريان الرقائقى $R_e \le 2000$

$$F = 64 / R_e \tag{8-23}$$

أما فى الحالة الإنتقالية $2000 \le R_e \le 4000$

$$F = 3.42 \times 10^{-5} \ R_e^{-0.85} \tag{8-24}$$

٨-٧-٥-٤ معادلة الطاقة

الطاقة الكلية عند أى مقطع على طول خط الرى بالتنقيط يمكن حسابها من المعادلة الآتية :

$$E = Z + H + \frac{V^2}{2g} \qquad (8\text{-}25)$$

حيث

E الطاقة الكلية (متر)

Z المنسوب (طاقة الوضع) (متر)

H الرفع الكلى (متر)

$\frac{V^2}{2g}$ رفع السرعة (متر)

وحيث أن التصرف يتناقص على طول الخط بسبب النقاطات وتوزيعها والخطوط الفرعية فإن تدرج خط الطاقة فى هذه الحالة سوف يكون منحنى وليس خطا.

وبإهمال رفع السرعة يمكن وضع معادلة الطاقة فى صورة لا بعدية كما يلى

$$E_i = 1 - (1 - i)^{m+1} \qquad (8\text{-}26)$$

حيث

E_i نسبة الهبوط فى الرفع = $\frac{\Delta H_i}{\Delta H}$

m أس التصرف فى معادلة الاحتكاك

ΔH الفقد الكلى بالاحتكاك

ΔH_i الفقد بالاحتكاك عند نسبة الأطوال $(i = l / L)$

L الطول الكلى للخط

l الطول المعطى مقاس من نقطة الرفع للخط

٨-٧-٥-٥ التغير فى الضغط على طول خط الرى بالتنقيط

إذا كان الرى بالتنقيط على منسوب سطح الأرض فإن التغير فى الضغط على طول الخط سوف يكون منحنى تدرج الضغط. أما إذا كان الخط يميل بميل معين فوق سطح الأرض فإن التغير فى الضغط سوف يتأثر بالميل. ففى حالة خط الرى فوق منسوب الأرض فإنه سوف يفقد جزء من الضغط أما فى حالة ميل الخط أسفل خط الرى فهذا يعنى زيادة الضغط وفى كلا الحالتين فإن التغير يتأثر بطول الخط. ويتضح أن توزيع الضغط على طول الخط هو مجموع ميل الطاقة وميل الخط ويمكن تحديد الفقد فى الاحتكاك لأى طول خط عند معرفة تدرج خط الضغط اللابعدى وبمعرفة الفقد الكلى. وعندما يعرف طول الخط وميله فإنه يمكن تحديد الرفع إما بالزيادة أو بالنقصان. وعند معرفة الرفع فى بداية الخط يمكن تحديد توزيع الرفع على طول خط الرى.

ويراعى الا يتجاوز التصرف عند كل نقاط اكثر من ١٠% من التصميم وبحيث لايتجاوز الفاقد فى الضغط عن ٢٠% من ضغط المأخذ.

التغير فى الرفع على طول خط الرى بالتنقيط يمكن إيجاده حسابيا من العلاقة الآتية :

$$Hi = H - \Delta H_i \pm \Delta H_i' \qquad (8\text{-}27)$$

حيث

H_i رفع الضغط الأستاتيكى عند نسبة الأطول (I) متر

H رفع الدخول (متر)

$\Delta H_i'$ الرفع نتيجة ميل الخط وهو إما سالب أو موجب حسب الميل عند نسبة الطول (متر)

٨-٧-٦ تصميم نظام الرى بالتنقيط

يعتمد تصميم نظام الرى بالتنقيط على عوامل متعددة بالإضافة إلى العوامل الأخرى التى تعترض نظام التصميم وأهمها العوامل الاقتصادية مثل الجدوى والعمالة وسعر الفائدة. والتصميم الجيد هو الذى يوائم بين تحقيق متطلبات النظام والعوامل الاقتصادية.

٨-٧-٦-١ اختيار النقاط Dripper Selection

عند اختيار النقاط يجب أن يكون متوافقا مع نظام المواسير ونظام الترشيح. وأغلب النقاطات تصنع من مادة (PVC) ويوجد أنواع من البولى إيثيلين PE ومن بعض المعادن مثل النحاس والألومنيوم ويتم توصيل النقاط بخط المواسير الجانبى بواسطة وصلة داخلية أو عن طريق فتحة فى جدار الماسورة أو باستخدام وصلة على شكل حرف T. ويراعى الأخذ فى الاعتبار ما يلى :

أ- يجب أن يمد النقاط النبات بالمياه اللازمة والكافية.

ب- يجب أن يكون المرسل قريبا من النبات وليس ملتصقا به.

ج- خصائص النقاط الهيدروليكية والخطوط الجانبية والفرعية وذلك لضمان انتظام الرى.

د- معامل التغير عند ضغط التشغيل القياسي.

هـ- يمكن حساب كمية التصرف المطلوبة للنقاط من المعادلة الآتية :

$$q_r = \frac{q_t \, I_i}{I_t \, E_i \, N} \qquad (8\text{-}28)$$

حيث

q_r كمية التصرف المطلوبة للنقاط (لتر / ساعة)

q_t كمية المياه المطلوبة للنبات (لتر / يوم)

I_i فترة الرى (يوم)

I_t زمن الرى (ساعة) لكل مجموعة (الذى يستقبل فيه الخط الجانبى للمياه)

E_i كفاءة نظام الرى (من ٠,٨٠ : ٠,٩٠)

N عدد النقاطات للنبات

٨-٧-٦-٢ تصميم الخطوط الفرعية Submain Design

تماثل هيدروليكية هذه الخطوط هيدروليكية الخطوط الفرعية ويوصى بألا تزيد الفواقد عن ٥٥ % بالفرعيات ، ٤٥ % بالخطوط الرئيسية من فواقد الطاقة الكلية المسموح بها. وفى الأراضى ذات الانحدار البسيط يلزم حساب طول الخط وقطره على حدة بهدف تحقيق التوازن بين تكلفة الطاقة وتكلفة المواسير.

أ- المواسير المستخدمة للخطوط الرئيسية تصنع من مادة PVC أو مواسير من مادة PE ويتم تزويدها بصمامات للغسيل وتوجد فلاتر عند كل وصلة للخطوط الفرعية لمنع المواد الغريبة من دخول الفرعيات وسد فتحات الرى.
ب- يتوقف تحديد أماكن اتصال الفرعيات على الخط الرئيسى بطبوغرافية الحقل حيث يفضل وضع الفرعيات مع الميول الطبيعية لسطح الأرض.
ج- يتم حساب الخواص الهيدروليكية لهذه المواسير باعتبارها مواسير ملساء ويتراوح معامل هازن ويليامز بين ١٤٠ ، ١٥٠ .
د- يتم حساب فواقد الرفع بالخطوط الرئيسية كما سبق بالفرعيات ، أما الفواقد عند أماكن اتصال الفرعيات فهى تتوقف على نوع الوصلة (شكل T ، كوع ......) وبالتالى فإن إجمالى الفواقد يشمل فواقد الطاقة خلال الفلاتر والصمامات (البلوف)

٨-٧-٦-٣ تصميم الخطوط الرئيسية Mainline Design

يلزم اختيار مقاس مواسير الخطوط الرئيسية بحيث يكون مجموع تكلفة الطاقة والشبكة خلال العمر الافتراضى للمشروع أقل ما يمكن وبالتالى يكون اختيار مقاس (قطر) الخط الرئيسى على أساس اقتصادى بالمقارنة بين تكلفة الطاقة وتكلفة المواسير.

٨-٧-٦-٤ مصدر إمداد المياه Water Supply Manifold

يتكون مصدر الإمداد بالمياه من المضخة ، الصمامات ، نظام الحقن الكيميائى ، منظمات الضغط ، الفلاتر ، العدادات ، أدوات التحكم الأوتوماتيكى وتتواجد كل هذه الأجهزة بجوار مصدر الماء Water Source وتتجمع هذه الأجهزة كلها لتكون ما يسمى (مجمع التحكم) Control Head وهى تضمن التشغيل الناجح لنظام الرى بالتنقيط.

أ- يتراوح مدى تشغيل المضخة فى حدود يتم اختيارها حسب الوحدات التى يتم تشغيلها Operating Sub Units ومعدل تدفق المياه خلالها وكذلك الضغط الكلى للشبكة Total System Head والذى يعرف بأنه مجموع الرفع عند مدخل الخط الفرعى ، وفرق المنسوب من المضخة لأعلى نقطة اتصال للخط الفرعى مع الخط الرئيسى ، وفواقد الرفع بين المضخة والخط الفرعى وهذه الفواقد تشمل الفواقد بالاحتكاك فى الخط الفرعى وخلال الفلاتر والصمامات وكذلك فواقد الخط الرئيسى (فواقد الطاقة خلال الفلاتر تتراوح من ٣٠ : ١٠٠ كيلو باسكال حسب نوع الفلتر).

ب- تقوم الفلاتر بمهمة حجز المواد العالقة بالمياه وبالتالى فهى تحتاج للنظافة على فترات منتظمة لتقوم بعملها بكفاءة. ويتوقف اختيار نوع الفلتر على نوعية ماء الرى وتركيز المواد العالقة وكذلك معدل التدفق بالشبكة ويجب مراعاة مايلى:
مرشح المأخذ (شبكه أو مرشح ميكانيكى)
مرشح الخط الرئيسى (يستخدم الرمل عادة)
مرشح موضعى على الخط الفرعى (يستخدم خرطوشه أو خيش)
كذلك يتوقف الإحتياج على نوع مصدر المياه: مجارى مائية – مجارى صرف أو مخلوط - آبار

ج- نظام الحقن الكيميائى Chemical injection system يتكون هذا النظام من البلوف والخزانات ومضخة لعملية الحقن. وفى هذا النظام يجب أن يراعى معدل الحقن وتركيز الكيماويات وسعة الخزان وكذلك متطلبات الأمان.

نظام التحكم فى التدفق بالشبكة تتم عملية التحكم من خلال نقط موزعة على الشبكة لقراءة الرفع وعدد من صمامات التحكم (اليدوية أو الأوتوماتيكية) أما كمية المياه المارة بالشبكة فيتم حسابها من خلال العدادات الخاصة.

والنقاط المختارة لقراءة الضغط تشمل نقطة مجمع التحكم ونقط اتصال الخطوط الفرعية بالخط الرئيسى وجانبى الفلاتر أو شبكات الحجز. ويعيب عملية التحكم بقراءات الضغط عدم دقتها مع مرور الوقت ويلزم استخدام التحكم على أساس حجمى أو وقتى وهى من الطرق الشائعة. وفى كل الأحوال تستخدم الصمامات للتحكم وقد تكون يدوية أو أوتوماتيكية والنوع الثانى قد يكون تشغيله كهربائيا أو هيدروليكيا لفتح أو غلق الخطوط الفرعية أو الفرعيات وحقن الكيماويات وغيرها.

٨-٧-٧ وصلات شبكة الرى بالتنقيط

يلى عملية التصميم تحديد الأجزاء اللازمة والوصلات للخطوط الفرعية والرئيسية وتشمل الآتى :

٨-٧-٧-١ وصلات الخطوط In Line Connection

وتستخدم لوصل مواسير PVC وفى حالة توصيل مواسير مختلفة الأقطار تستخدم وصلات مقللة للقطر ويطلق عليها Reducing Coupler أما فى حالة تغيير إتجاه المواسير يمكن استخدام الكوع Elbow .

٨-٧-٧-٢ وصلات التفريعة Branch Connection

وهذه الوصلات تصنع على شكل حرف T أو على شكل + ويمكن أن تكون هذه الوصلات مقلوظة أو منزلقة.

٨-٧-٧-٣ وصلات خاصة Special Fittings

وهى الوصلات التى يمكن أن تستخدم مع الصمامات والعدادات والفلاتر وأجهزة الضغط ونهاية الخط ومن هذه الوصلات :

١- نبل (Nipple) وهى وصلة ذات نهايتين (ذكر) ومقلوظة.
٢- وصلة مهيئة (Adapter) وهى وصلة تستخدم فى حالة تغيير حالة نهاية الماسورة من نهاية مقلوظة إلى نهاية منزلقة أو العكس.
٣- جلبة (Bushing) تستخدم لتقليل حجم أو مقاس نهاية الماسورة.

ويلاحظ أن المواسير PVC قليلة السمك إلى حد لا يسمح بعملية القلوظة حيث يتم لصق النهاية الملساء لهذه المواسير بالوصلات المطلوب لحامها.

٨-٧-٧-٤ وصلات خاصة بالخطوط الرئيسية والفرعية

فى هذه الحالة يتم استخدام وصلات على شكل حرف T منزلقة أو مقلوظة وتستخدم وسائل تحكم على الخط الرئيسى والتى يطلق عليها المشعبات Submain Manifold كما هو موضح بالشكل (٨-٣).
كما تستخدم وصلات على الخطوط الفرعية لربطها بالخطوط الجانبية كما هو موضح بالشكل (٨-٤).
تستخدم طبات Plugs لسد نهايات الفرعيات والتى يطلق عليها Lateral Line end arrange ويراعى عند تركيب هذه الوصلات التأكد من عدم وجود أى مواد غريبة بالشبكة ويفضل غسل الشبكة قبل تركيب الفرعيات والمخارج.

٨-٧-٨ التسميد خلال نظام الرى بالتنقيط

يعتبر التسميد خلال نظام الرى بالتنقيط أحد طرق تقليل العمالة والطاقة وتكاليف الأجهزة إذا ما قورن بالطرق التقليدية للتسميد. ويمكن إضافة الأسمدة المطلوبة بكميات صغيرة أثناء موسم النمو دون التأثير على إنتاجية المحصول. كما أنه يجب مراعاة المواد المستخدمة بحيث أن لا تسبب إنسداد النظام وهذا يتوقف على كفاءة عملية الخلط وكفاءة التوزيع.

٨-٧-٨-١ طرق الحقن
يوجد ثلاثة طرق رئيسية لحقن الأسمدة والمواد الكيميائية خلال نظام الرى بالتنقيط وهى :

١- طريقة فرق الضغط Pressure differential
فى هذه الطريقة يوضع خزان تحت تأثير ضغط حيث يتم إيجاد فرق الضغط بواسطة محبس ومنظم للضغط بين مدخل ومخرج الخزان. والفرق فى الضغط بين الوصلة ووضع السريان فى الماسورة يسبب سريان الماء خلال الخزان الواقع تحت تأثير الضغط ويتم تصميم هذا الخزان بحيث يتحمل أقصى ضغط تشغيل مطلوب ومن خلال المحبس يتم التحكم فى معدل الحقن.

طريقة التفريغ Vacuum Ventura
فى هذه الطريقة يحدث تغير سريع فى السرعة يؤدى إلى تقليل الضغط والوصول إلى حالة الخلخلة (Vacuum) مما يؤدى إلى دفع الأسمدة إلى الخط .

٣- طلمبات خاصة Metering Pumps
فى هذه الطريقة تستخدم طلمبات دوارة (Rotary) أو ترسيه (Gear) أو مكبس (Plunger) لحقن محلول الأسمدة من الخزان إلى خط الضغط وهذه الطلمبات يجب أن تعطى ضغطا أكبر من ضغط الخط. وحيث أن الأسمدة والمواد الكيماوية تسبب تآكل فى كثير من الأحيان. يجب أن تصنع الطلمبات من مواد مقاومة للتآكل.

وحقن الأسمدة والمواد الكيماوية الأخرى باستخدام طلمبات تعتبر طريقة مقننة لنسب الحقن لنظام الرى بالتنقيط. وجميع نظم حقن المواد الكيماوية يجب أن تزود ببلف جهة نقطة الحقن. حيث تمنع خلط المواد الكيماوية بمصدر المياه فى حالة انقطاع مصدر الطاقة.

٨-٧-٨-٢ معدلات الحقن
معدل حقن الأسمدة للنظام يعتمد على نسبة التركيز لمحلول الأسمدة وكمية النترات المطلوبة أثناء عملية الرى والمعادلة التالية توضح كمية السماد المطلوبة.

$$q_{fi} = \frac{F_r\ A}{C t_r\ I_t} \qquad (8\text{-}29)$$

حيث

q_{fi} : معدل حقن محلول السماد للنظام (لتر / ساعة)

F_r : معدل التسميد (كمية النترات لدورة رى واحدة) (كيلوجرام / الفدان)

A : مساحة المنطقة المروية (الفدان) فى الزمن I_t

C : نسبة تركيز النترات فى المحلول (كيلوجرام / لتر)

t_r : النسبة بين زمن التسميد وزمن الرى وعادة تؤخذ ٠,٨ وذلك للسماح بغسيل الخط (زمن غسيل الخط)

I_t : فترة الرى بالساعة

٨-٧-٨-٣ تركيز الأسمدة

تركيز الأسمدة فى مياه الرى يمكن أن يكون فى حدود من ٤ : ١٠ جزء فى المليون ونسبة التركيز الحقيقية المطلوبة تعتمد على مادة السماد ومتطلبات المحصول ولذلك لابد من التحليل الدورى للتربة ومواد الزراعة حتى يتم تحديد معدل التسميد وكمية النترات لوحدة المساحة. ونسبة تركيز السماد فى مياه الرى والتى تعطى معدل التسميد F_r تحسب من المعادلة الآتية :

$$F_c = \frac{100\,F_r}{t_r\;I_d} \qquad (8\text{-}30)$$

حيث

F_c : تركيز السماد فى مياه الرى (جزء فى المليون)

I_d : كثافة الرى (عمق) (مم)

٨-٧-٨-٤ سعة خزان السماد

خزان منخفض التكاليف عمليا حيث يمكن استخدام مضخة الحقن أو نظام التفريغ. الخزان الكبير يعتبر مكان جيد لتخزين السماد لفترات قصيرة ويقلل العمالة وسهل الملء ويزود بمحبس غلق أوتوماتيكى للتحكم فى زمن التسميد. أما لنظام فرق الضغط أو نظام التفريغ يجب أن يكون خزان السماد ذا سعة كافية للرى بالكامل وهذه السعة C_t يمكن حسابها من المعادلة :

$$C_t = \frac{F_r\;A}{C} \qquad (8\text{-}31)$$

حيث C_t :سعة الخزان (لتر)

٨-٧-٩ صيانة وغسيل الخطوط والترشيح

Maintenance, Filtration & Flushing

من المشكلات الشائعة فى صيانة شبكات الرى بالتنقيط هو إنسداد النقاطات Emitters وذلك نتيجة لعوامل ميكانيكية أو كيميائية أو بيولوجية. ومن أسس تصميم هذه النقاطات هو أنه كلما صغرت فتحة النقاط فإن معدل التنقيط يقارب معدل رشح المياه عبر طبقات الأرض وإن كان هذا يؤدى لتزايد مشكلة الانسداد وبالتالى فإن تصميم هذه المخارج يخضع للموازنة بين هذين المطلبين. كما أن خواص المياه تؤثر بشكل مباشر على خواص الانسداد للنقاطات وذلك ما يوضحه جدول رقم (٨-١٣).

جدول (٨-١٣) التوصيف الرقمى لخطورة الإنسداد لمياه الرى المستخدمة فى النظم النبضية

العامل	خطر الإنسداد		
	طفيف	متوسط	شديد
المواد العالقة * (PPm)	أقل من ٥٠	٥٠ - ١٠٠	أكبر من ١٠٠
PH	أقل من ٧	٧ - ٨	أكبر من ٨
المواد الغذائية * (PPm)	أقل من ٥٠٠	٥٠٠ - ٢٠٠٠	أكبر من ٢٠٠٠

منجنيز * (PPm) حديد (PPm)	أقل من ٠,١	٠,١ - ١,٥	أكبر من ١,٥
حديد (PPm)	أقل من ٠,٥	٠,٥ - ٢	أكبر من ٢
بكتريا + (Max no/ml)	أقل من ١٠٠٠٠	١٠٠٠٠ - ٥٠٠٠٠	أكبر من ٥٠٠٠٠

* أقصى تركيز مقاس من العينات المتاحة باستخدام التحليل القياسي
+ أقصى عدد للبكتريا لكل مللى لتر يتم الحصول عليها من التحليل المعملى.

٨-٧-٩-١ الترشيح الميكانيكى Mechanical Filtration

تشمل أعمال الترشيح الميكانيكية أحواض الترسيب وشبكات الحجز وفصل الرمال بالطرد المركزى ومرشحات الرمل بغرض تقليل المواد العالقة ، وتستخدم هذه الوسائل منفردة أو متجمعة وقد تتطلب هذه الأعمال استخدام مضخة لأعمال الغسيل ، ويوضح الجدول (٨-١٤) المواد المختلفة والتى يمكن حجزها بالترشيح الميكانيكى ومقاسات الشبك اللازم لذلك.

٨-٧-٩-٢ أحواض الترسيب Sedementation Tanks

يمكن فى هذه الأحواض التخلص من المواد العالقة بالماء والتى تتراوح بين الرمل (٢٠٠٠ ميكرون) والطمى (٢ ميكرون) Silt ، (١ ميكرون = ميكرومتر = ٠٠١ر٠مم) ويعتبر الزمن اللازم للترسيب من العوامل المهمة وتتوقف على العلاقة بين مقاسات حوض الترسيب وكميات الماء المطلوب إمرارها به ، ولذلك يمكن عمل إثنين من أحواض الترسيب متجاورين ويتم سحب الماء منهما بالتتابع ، ويعتبر من غير المناسب عمليا التخلص من المقاسات الأقل من ٢ ميكرومتر وذلك لزيادة زمن الترسيب المطلوب. ويعتبر استخدام المواد الكيماوية (مثل الشبة) مهما فى أعمال الترسيب للمقاسات الصغيرة ويراعى فى تصميم هذه الأحواض سهولة تنظيفها على فترات إما بالطرق الميكانيكية أو بالغسيل، وقد تكون النظافة بمعدل مرة واحدة كل عام كافية ويمكن استخدام الكلور فى أعمال التعقيم نظرا لنمو الطحالب بالأحواض ويلزم الحذر فى ذلك حتى لايسبب ضرر للمزروعات.

جدول (٨-١٤) حجم فتحات الفلتر المناظرة للشوائب المختلفة

أصناف حبيبات التربة القياسية	الحجم بالمليمتر	فلتر شبكي	فلتر الرمل +
رمل خشن جدا	١ - ٢	١٨ - ١٠	يستخدم ٠,١ من حجم الجزيء
رمل خشن	٠,٥ - ١	٣٥ - ١٨	
رمل متوسط	٠,٢٥ - ٠,٥٠	٦٠ - ٣٥	
رمل دقيق	٠,١٠ - ٠,٢٥	١٦٠ - ٦٠	
رمل دقيق جدا	٠,٠٥ - ٠,١٠	٢٧٠ - ١٦٠	
غرين	٠,٠٢ - ٠,٠٥	٤٠٠ - ٢٧٠	
طمي	أقل من ٠,٠٠٢	--	

+ باعتبار رمل مستدير ورمل مدبب يساوى ٠,٠٨٣٣ من حجم الجزئ

٨-٧-٩-٣ فصل الرمل Sand Separator

يتم فصل حبيبات الرمل بقوة الطرد المركزى وتستخدم كمية من الماء لكسح ما يترسب من حبيبات الرمل.

٨-٧-٩-٤ المصافى Screens

يمكن تصميم هذه المصافى بمقاسات وأشكال متعددة مع مراعاة الحد الأدنى لمقاس المصفاة ، تتفاوت هذه المصافى تبعا لحجمها من مصافى عملاقة دوارة يتم تنظيفها أوتوماتيكيا بضغط الماء إلى المصافى الصغيرة أمام فتحات المواسير والتى يتم تنظيفها يدويا ، كما توجد مصافى اسطوانية تصمم حسب مواصفات خاصة لتحمل الضغوط بداخل المواسير وهى شائعة الاستخدام ، كما توجد الفلاتر المزدوجة وفيها يعمل أحد الفلترين بينما يتم عمل غسيل للآخر بفعل تيار من الماء.

٨-٧-٩-٥ مرشحات الرمل Sand Filters

تمتاز هذه المرشحات بصلاحيتها للعمل على نطاق واسع لكل من أعمال الترشيح المطلوبة وكمية السريان المطلوب إمرارها. حيث يمكن التحكم فى مقاسات الرمل بالفلتر وأبعاده.

ومادة المرشح تتكون غالبا من كسر الجرانيت والسيليكا وذلك بتدريجات تناسب نوعية الماء المطلوب وكذلك كمياته ويراعى مهما صغرت مقاسات هذه المواد بالفلاتر أن لا تتجرف مع تيار الماء بالفلتر. ويتم غسل الفلتر بالغسيل العكسى Back Flushing وذلك بعكس اتجاه مرور الماء بالفلتر حيث يعمل التيار الخلفى على دفع حبيبات الفلتر لأعلى وتفكيكها. وتمتاز هذه الفلاتر برخص أسعارها وسهولة التشغيل ، ولكن بالرغم من كفاءتها فى إزالة معظم المواد المعلقة ، إلا أنها لا تصلح لإزالة المواد فائقة النعومة أو البكتريا. ومع استخدام هذه المرشحات الرملية وإستمرار حدوث الإنسداد بالمخارج يلزم عمل ترشيح إضافى للماء الخارج من هذه المرشحات الرملية.

٨-٧-٩-٦ الفلاتر المسامية Cartridge Filters

تصنع هذه الفلاتر من مواد مختلفة مثل الفيبرجلاس ولها مسامية تقل عن المرشحات الرملية ولذلك يجب أن تزيد عنها فى الحجم أو العدد لإمرار نفس كمية المياه ، وتكون هذه المرشحات أكثر مناسبة للتركيزات الأقل من المواد العالقة حتى لا تحتاج للتنظيف بشكل دائم نظرا لإنسداد مسامها تماما ، وعادة ما تكون هذه المرشحات هى الأخيرة قبل دخول الماء لشبكة الرى.

٨-٧-٩-٧ غسيل الخطوط Flushing

من الشائع غسيل الخطوط الفرعية وذلك بهدف الحماية ومنع انسداد المخارج مع مراعاة العناية الكافية لإتمام الغسيل بنجاح. ويلاحظ أن الخطوط الفرعية معرضة دائما لمشاكل الترسيب نتيجة لصغر سرعة التدفق عند نهايتها أو نمو الطحالب ، مما يؤدى إلى انسداد المخارج وبالتالى فإن إزالته يؤدى لتحسين كفاءة الخطوط وزيادة عمرها الافتراضى. ويمكن أن تتم عملية الغسيل يدويا بفتح نهاية الخط وصمامات الغسيل واستخدام ماء الرى تحت ضغط لعمل الغسيل بسرعة لا تزيد عن نصف متر/ ثانية. ويتوقف الزمن بين الغسيل والآخر على نوعية الماء وكميته ودورات الرى ومعدل الرى.

٨-٨ التفتيش الحقلى Field Inspection

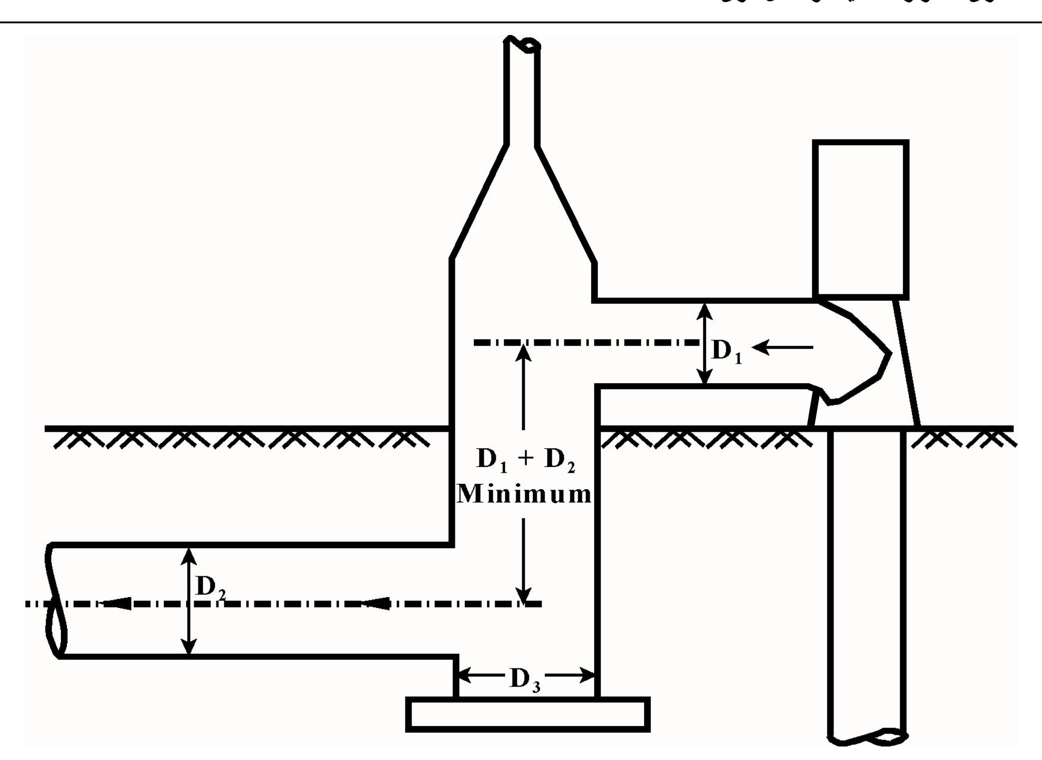
يجب التحقق من سلامة شبكة الرى وعدم إنسداد المخارج وعدم وجود تشققات أو كسر بالمواسير ويتم هذا الفحص بصفة دورية (أسبوعيا) ويمكن بملاحظة العدادات اكتشاف مثل هذه المشكلات وفحصها فى حالة وجود اختلاف فى معدلات السريان فى حدود ١٠ %.

٨-٩ المعالجة الكيميائية Chemical Treatment

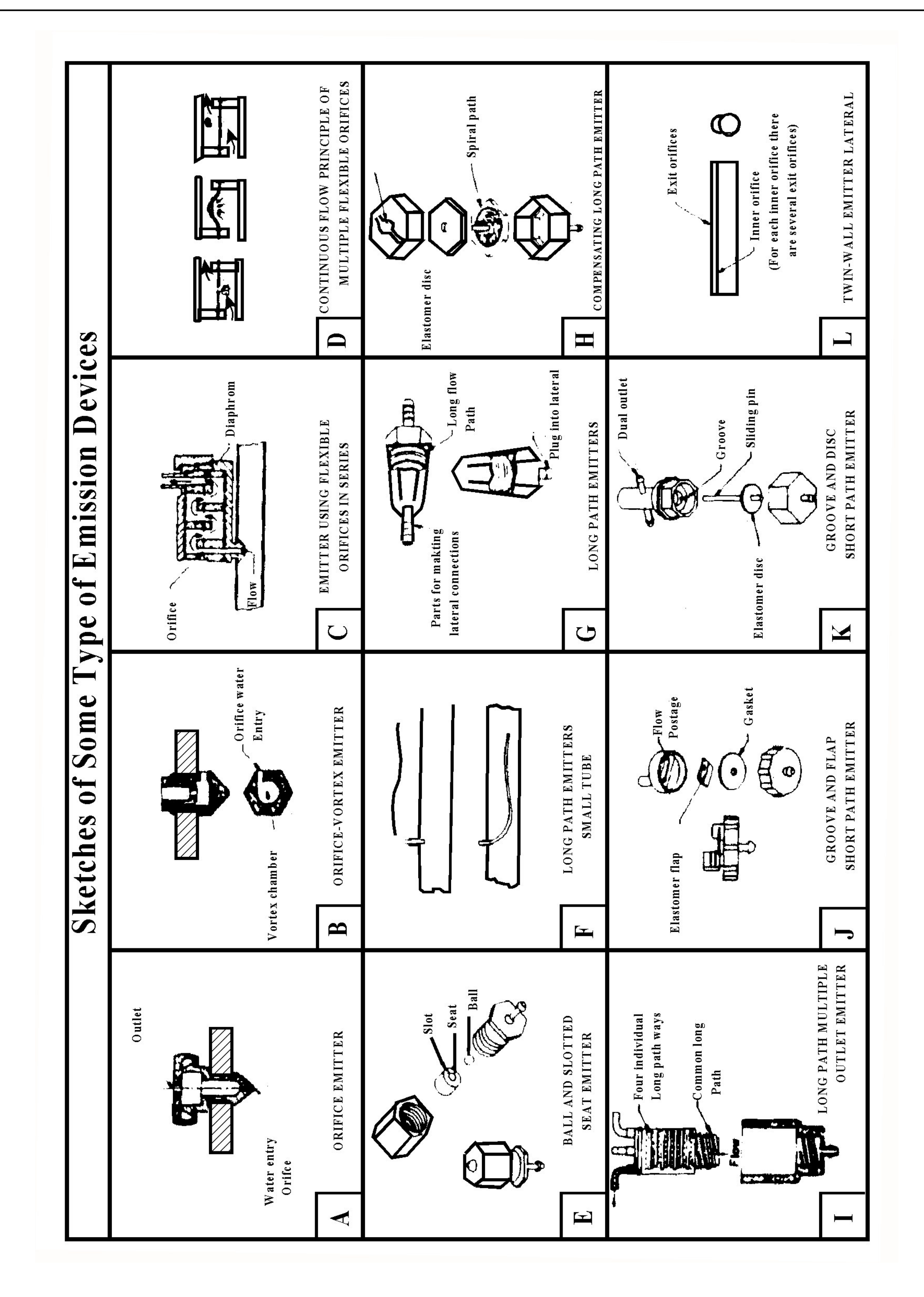
تحتوى مياه الرى على البكتريا والطحالب وغيرها من المواد التى يصعب إزالتها بالترشيح وكثير من هذه المواد تتكاثر مع استمرار تواجدها فى الماء الساكن أو الذى يتحرك بسرعات صغيرة. وكل هذه العوامل تسبب مشاكل لشبكة الرى بالتنقيط حيث تسبب انسدادا للمخارج على اختلاف أنواعها. وعندما تزيد قيمة (ph) للماء عن ٧,٥ يمكن حدوث ترسيب لكربونات الكالسيوم أو الماغنسيوم ، ويمكن تقليل آثار الترسيب بإضافة الأحماض (عادة أحماض كبريتية) وذلك لتقليل قيمة (ph) كما يمكن استخدام حمض الفوسفوريك للمعالجة وكمخصب.

وتستخدم مبيدات الطحالب Algae Cides لمنع نمو الطحالب بالماء ومن أشهرها كبريتات النحاس والكلور وحمض الكبريتيك ونظرا لحاجة هذه الفطريات للضوء للنمو فإنها لا تنمو داخل الأنابيب المغلقة بالشبكة ، ولكن تتم عملية التعقيم هذه للقضاء على ما يمر منها من المرشحات ويؤدى لإنسداد المخارج.
تتكون طبقة من البكتريا Bactericides بداخل الأنابيب المغلقة كما تتكون خارجها وتمثل خطورة فى حد ذاتها ، كما أنها تؤدى لترسيب المواد الناعمة العالقة بالماء. تعتبر المعالجة بالكلور Chlorine من أكثر الوسائل فاعلية وتكلفة للقضاء على البكتريا ويمكن إضافة الكلور بتركيزات بسيطة (جزء فى المليون). وقد يضاف على فترات ولمدة بسيطة لا تتعدى دقائق وبتركيزات كبيرة (١٠ - ٢٠) جزء فى المليون. وتسمى المعالجة الأخيرة (المعالجة المتقطعة) Slug Treatment وهى مفضلة عن الطريقة الأولى (الطريقة المستمرة) Continuous Treatment . وتتم إضافة الكلور عند المرشحات على شكل غاز الكلور Sodium hyper chlorite ويعيب استخدام الغاز ارتفاع قيمة التكلفة وصعوبة التعامل وكذلك التأثير على العاملين.

تستخدم هذه المواد (المخثرات) Flocculent على نطاق واسع فى أحواض الترسيب ومن خلالها تتم عملية التخثير (تجميع حبيبات المواد الناعمة لتكوين حبيبات أكبر) وبذلك يزداد ثقلها وتترسب. وقد تكون الحبيبات المجمعة أقل كثافة من الحبيبات المنفردة ولا تترسب ويلزم فى هذه الحالة استخدام الشبكات أو المرشحات.

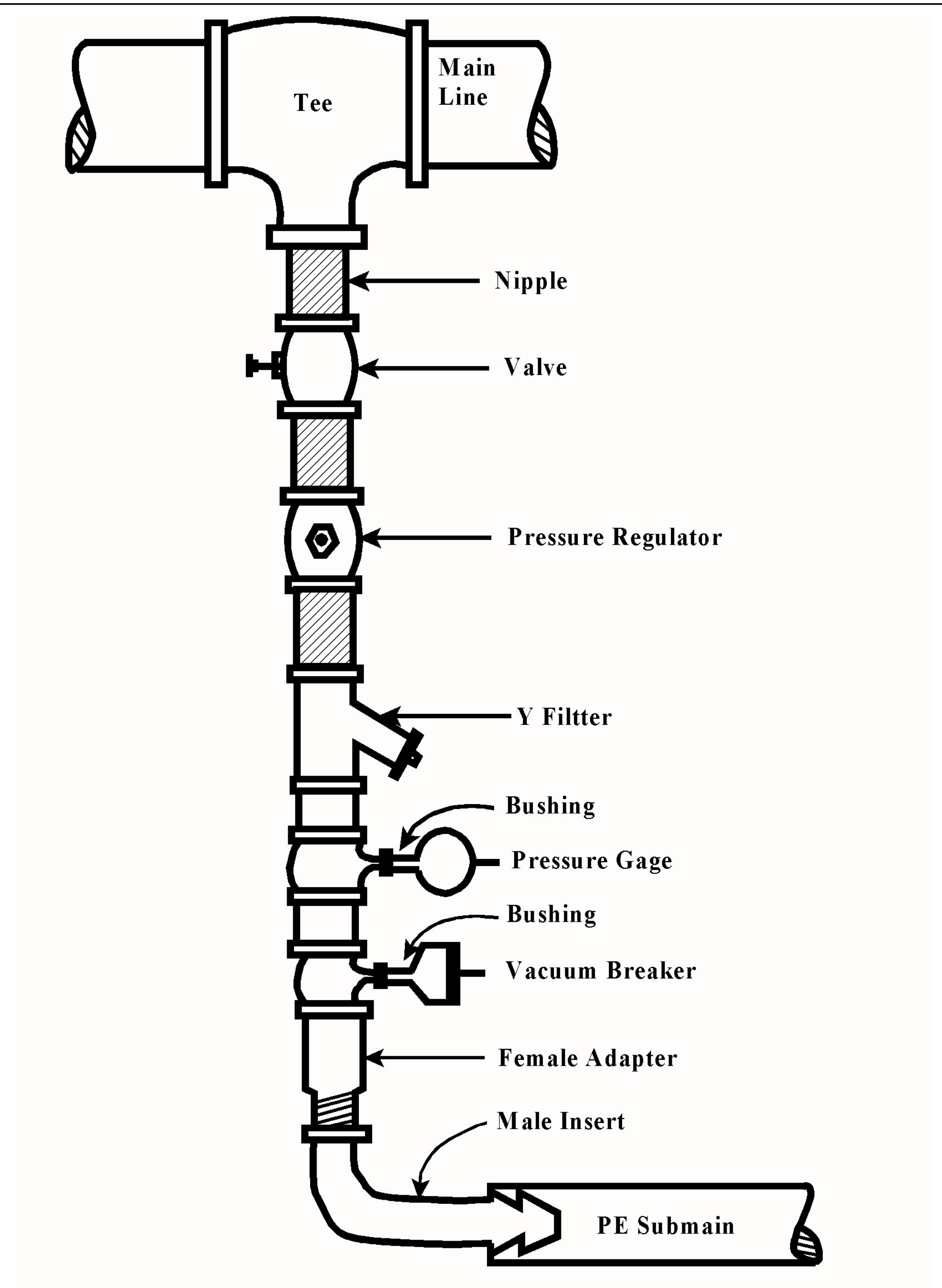


شكل (٨-١) استنزاف الهواء عند مخرج الطلمبة وبداية المواسير المدفونة



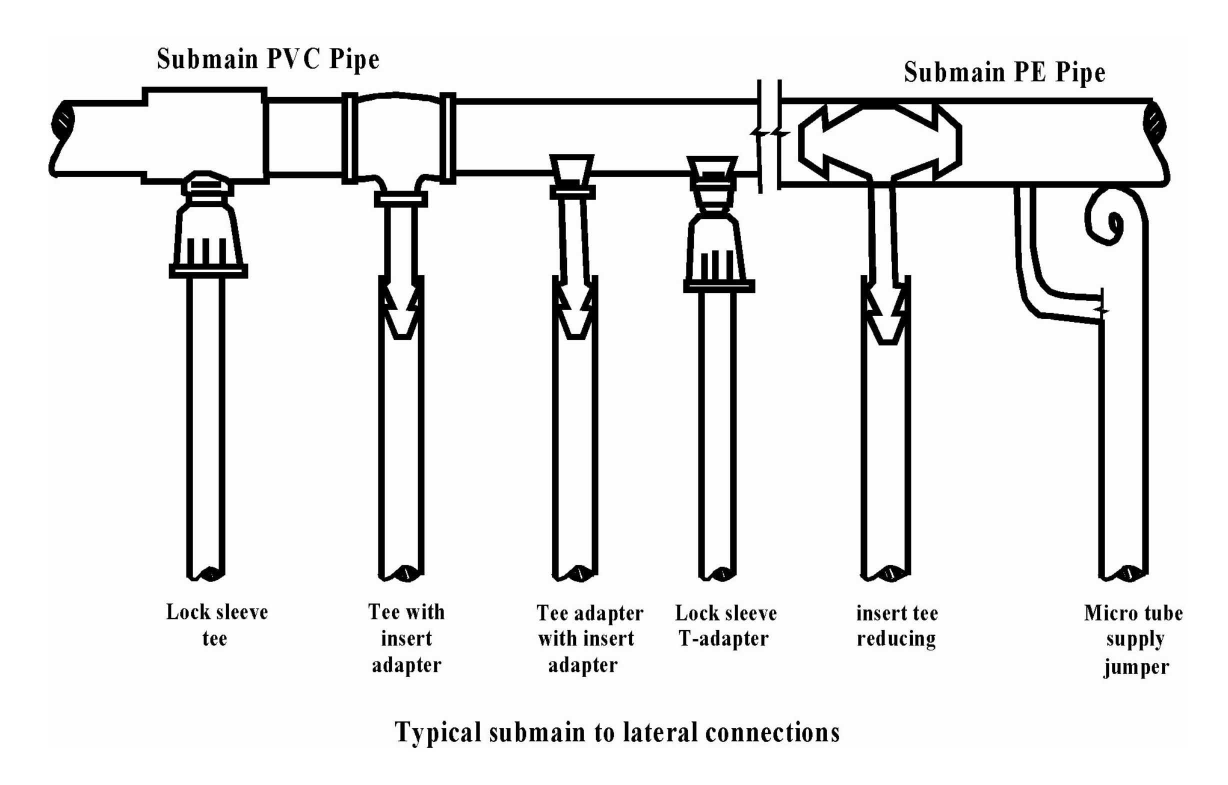
Examples of Emitters (after Solomon, 1997)

شكل (٨-٢) أمثلة لأنواع النقاطات



Typical main to submain connection for a drip irrigation system

شكل (٨-٣) وصلات خاصة بالخطوط الرئيسية والفرعية



شكل (٨-٤) وصلات ربط الخطوط الفرعية والخطوط الجانبية

الباب التاسع
معدات مراقبة نوعية المياه فى المجارى المائية

٩-١ جهاز قياس نسبة العكارة Turbidity Meter

تحدث العكارة فى المياه نتيجة المواد العالقة سواء كانت معدنية مثل الطين أو الطمى أو مواد عضوية مثل الطحالب أو أى كائنات حية متناهية فى الصغر.

وتقاس العكارة بواسطة عدسات بصرية واضحة فى المياه وقياس قيمة العكارة تكون متضمنة فى مجموعة من الاختبارات الأخرى. وكمثال فحيثما تكون قيمة العكارة أقل من NTU 5 (Nephelometric Turbidity Units) (NTU وحدة قياس العكارة) ومطهرة تماما من الجراثيم وحسب المتعارف عليه عمليا فإن الجزء المطهر المتبقى فى عينة المياه والذى يكون غير محجب لرؤية وجود بعض المواد العضوية الصغيرة فى مياه الشرب. وحيث أن العكارة تزيد عن NTU 5 فقط يصبح وجود ماء مغير (غائم) مع وجود الخطورة المباشرة على الصحة وهذا يحدث بواسطة الجزيئات العالقة والتى تعطى وسطا مناسبا لوجود البكتريا بكثرة وكذلك تكون هذه البكتريا حماية لها ضد عملية التطهير منها.

تقاس العكارة عادة بواسطة تسليط ضوء متفرق على المياه المراد قياس درجة عكارتها وهذه الطريقة تستخدم خواص إرتداد الضوء المتفرق (المبعثر) على المواد العالقة فى عينة المياه.

يتم إستخدام طريقة (Nephelometric) فى جهاز قياس درجة العكارة ومدى الإستخدام من صفر وحتى 50 NTU .

وأقل مدى لجهاز قياس نسبة العكارة من صفر وحتى NTU 20 حيث يكون مناسبا لإختبار عينات مياه الشرب وعندما يكون مدى إستخدام جهاز قياس نسبة العكارة من صفر وحتى NTU 19.99 . تكون درجة الدقة ± ٠,٠٥ NTU أو ± ٢ % أيهما أكبر.

٩-٢ جهاز قياس درجة حرارة الهواء والمياه
Air and Water Temperature Meter

هذا الجهاز يستخدم فى اختبار بنود مختلفة ومصمم عمليا لاستخدامه فى المجال المعملى كجهاز تحليل للمياه.

وهذا الجهاز أيضا مناسب لاختبارات نوعية المياه بصفة عامة وبصفة خاصة يستخدم فى المشروعات التعليمية التربوية.

ثلاث صفات رئيسية تعطى عن طريق هذا الجهاز لتمكنه من القدرة على قياس درجة تركيز أيونات الهيدروجين النشطة (ph) ، ودرجة الحرارة والتوصيلية.

كذلك يعطى هذا الجهاز بعض الخواص الاختبارية والتى تكون متاحة مثل قياس درجة الأكسجين الزائد فى المياه وكذلك الـ REDOX .

ويمكن زيادة درجة قياس التوصيل باستخدام معامل خلية $K = 10$ أو $K = 0.1$.

مدى إستخدام هذا الجهاز

وتكون المعدلات كما يلى :

- لدرجة تركيز أيونات الهيدروجين النشطة PH من صفر وحتى ١٤ .
- ميللى فولت من صفر وحتى ± ١٩٩٩ ميللى فولت.
- درجة الحرارة من صفر وحتى ١٠٠° م .
- التوصيلية من صفر وحتى ١٩٩,٩ ms (micro Siemens) .
- الأكسجين الزائد فى المياه من صفر وحتى ١٩,٩ mg / L .

٩-٣ جهاز قياس التوصيل الكهربائى للأملاح الموجودة فى العينة Electrical Conductivity (E.C) Meter

يتم تعريف تركيز الأملاح (الأيونات) والتى لها القدرة على التوصيل الكهربائى والتى تقاس بالميكرومهو / سم أو المللى مهو / سم (m.mho / cm) (وهو اصطلاح عكس المقاومة والتى تقاس بـ ohms)

وهذا الاصطلاح يستخدم للتعبير عن الآتى :

- تقييم تأثير الأملاح الكلية على الاتزان الكيميائى والتأثيرات الفسيولوجية فى النبات والحيوان.
- تقدير نسبة الأملاح فى الماء المقطر.
- تقدير الاختلافات فى نسب ذوبان الأملاح المختلفة فى المياه النقية وكذلك فى مياه المخلفات.
- جهاز قياس التوصيلية هو قياس مباشر للأملاح الذائبة المركزة فى المحلول وتتأثر مباشرة بدرجة الحرارة.
- التوصيلية فى مياه الشرب عادة ما تكون مستقرة وتكون نادرا واقعة خارج مدى من ٥٠ إلى ١٥٠٠ µs (micro siemens) .
- حيثما أن مياه المجارى أو المياه المالحة يتم زيادتها بمصدر مائى آخر فإن التوصيلية ربما ترتفع فعليا.
- التوصيلية تكون سهلة القياس وتعطى مؤشرا عن نوعية المياه ، التغيرات المفاجئة فى التوصيلية سوف تؤدى إلى بعض العقبات (المشاكل) فى قياسها.
- هذان البندان يؤديان إلى سرعة ودقة تحديد التوصيلية ودرجة الحرارة.
- جهاز التوصيلية هذا يكون أيضا معالجا لدرجة الحرارة وفى مدى من صفر إلى ٥٠° م.

٩-٤ جهاز قياس درجة الأكسجين الذائب فى المياه Dissolved Oxygen ($D.O_2$) Meter

وجود الأكسجين الذائب $D.O_2$ فى المياه خطير وقاتل للكائنات الحية التى تتنفس بالهواء وكذلك تأثيره السلبى على قياسات محطات معالجة المياه.

مدى استخدام الجهاز

- من ٠ - ٢٠٠ % ومن ٠ – ١٩,٩٠ mg / L .
- وكمثال فى حالة وجود مصدر مائى فإنه توجد علاقة بين درجة الحرارة وكمية الأكسجين الذائب وعموما فإن ارتفاع درجة الحرارة يعنى انخفاض فى الأكسجين الذائب فى المياه.

وقدرة قياس كلا من البندين عاليه يتم باستخدام جهاز واحد مثالى وذلك فى حالة اختبار نوعية المياه ، مراقبة التلوث الحرارى ، الأبحاث الجيولوجية ، المشروعات التربوية والعلمية.

ويقوم الجهاز بقياس كلا من الأكسجين الذائب بدقة بـ mg / L كما يستطيع الجهاز قراءة درجة الحرارة مباشرة بدرجة دقة 0.1^o C ولمدى من ١٥٠° و إلى - ٣٠° م.

٩-٥ جهاز قياس درجة تركيز أيونات الهيدروجين النشطة Hydrogen Ion Activity (P.H) Meter

تركيز أيونات الهيدروجين النشطة هو مدلول يعبر عن تركيز أيون الهيدروجين فى المياه ويعبر عن حموضة المياه أو قلويتها ويتم التعبير عنها باستخدام رقم الـ PH أو PoH ويلاحظ أن مجموع الـ PH + PoH = ١٤ أى أن قيمة الـ PH لا تتعدى ١٤ .

ويلاحظ أنه عندما تكون قيمة الـ PH محصورة بين ٦,٨ - ٨,٢ تكون فى نطاق التعادل وإذا زادت عن ٨,٢ تكون قلوية وإذا قلت عن ٦,٨ تكون حامضية .

ويلاحظ أن العديد من العمليات الصناعية فى المياه تتأثر تأثيرا مباشرا بـ PH (الحامضية / القلوية) للمياه وهذه تشمل العسر والتحكم فى التآكل والتطهير.

والمياه المتعادلة سواء أكانت حامضية أو قلوية لها رقم PH (٧) ومعظم المياه بها نسبة قلوية طفيفة وذلك فى وجود بيكربونات أو الكربونات بالمحلول وبالتالى فإن قيمة الـ PH لها علاقة مباشرة بنوعية المياه وكذلك الصحة العامة حيث تنشأ المشكلات وتؤدى إلى إستمراريتها. وفى معظم الأحوال فإن حالات PH الأخرى تتوقف على كفاءة أساليب معالجة المياه.

مدى إستخدام الجهاز PH من صفر إلى ١٤ ومدى درجة الحرارة من -٣٠ حتى + ١٥٠° م ، بينما يكون الجهد المقاس من صفر حتى ١٩,٩٩ مللى فولت.

٩-٦ بنود بيان نوعية المياه Indicator Parameters of Water Quality

٩-٦-١ درجة العكارة (Turbidity)

- درجة العكارة المقاسة لها علاقة قوية بتركيز المواد الصلبة المعلقة (Tss) Total Suspended Solids والعلاقة طردية .
- المدى الذى يقيس فيه الجهاز 0 to 19.99 NTU .
- الدقة ± 0.05 NTU or ± 2 % .

٩-٦-٢ درجة الحرارة (ماء - هواء)

فى الغالب يكون ملحق بجهاز آخر مثل جهاز قياس الملوحة أو جهاز قياس الأيون الهيدروجينى (PH) .

المدى الذى يقيس فيه الجهاز 0 to 100^o c ودرجة الدقة ± 0.5^o c

٩-٦-٣ درجة التوصيل الكهربى Electrical Conductivity Meter

- وهو جهاز يقيس درجة التوصيل الكهربى والذى له علاقة طردية قوية مع درجة الملوحة.
- درجة التوصيل الكهربى Factor x = (درجة الملوحة) E.C .
- الملوحة (PPm) = 670 x Ec measured in (ds / m) .

درجة التوصيل الكهربى المقاسة x ٦٧٠ = الملوحة جزء فى المليون (ديسيمتر / متر)

- مدى القياس 0 : 67000 ppm وهو ما يعادل 0 : 99.9 ds / m .
- دقة الجهاز 0.01 ds / m .

٩-٦-٤ الأكسجين الذائب فى المياه Dissolved Oxygen (D.O)

- الجهاز يقيس نسبة الأكسجين الذائب فى المياه.
- مدى القياس 0 to 199 mg / L .
- دقة الجهاز % 2 ± .

٩-٦-٥ درجة الأيونات الهيدروجينية النشطة (PH)

- الجهاز يقيس درجة القلوية والحامضية للماء.
- مدى الجهاز 0 to 14 PH Value .
- الدقة 0.02 PH Value .

٩-٧ جهاز قياس الضوء Photometer

هو جهاز يستخدم فى امتصاص المواد لبعض مكونات الضوء للتعرف على هذه المواد وكميتها وهذا الجهاز يمكنه قياس ٢٥ عنصر منها الألومنيوم والبورون والأمونيا ، الكلور ، النحاس ، الفلوريد ، الحديد ، الماغنسيوم ، المنجنيز ، النترات ، الأوزون ، الفوسفات ، البوتاسيوم ، السليكا ، الكبريتات ، الزنك.

- مدى الجهاز 0 - 100 % transmittance .
- الدقة Better than 5 % of reading for transmittance .